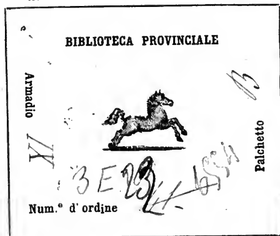
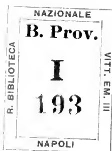



FONDO PIZZOFALCONE


BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio
Palchetto
Num.° d' ordine


NAZIONALE
B. Prov.
I
193
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
NAPOLI

TRATTATO
ELEMENTARE
DI FISICA
APPLICATA
ALLE SCIENZE NATURALI ED ALLE ARTI

PER

FILIPPO CASSOLA

Professore di Fisica e Chimica nel R. Collegio Militare, e di Chimica e Mineralogia nella scuola di Applicazione de' Ponti e Strade; Socio Onorario del R. Istituto d'Incoraggiamento; Ordinario dell'Accademia Pontaniana di Napoli; Corrispondente della R. Accademia delle Scienze di Torino, della Società di Chimica Medica, Linneana e di Chimica e Fisica di Parigi; dell'Istituto Istorico di Francia alla Sezione delle Scienze Fisico-Matematiche; della Società Filosofico-Medica di Vürtzburg; dell'Accademia delle Scienze ed Arti degli Ardenti di Viterbo; delle RR. Società Economiche di Abruzzo ulteriore e della Provincia di Molise; dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali di Catania, della R. Accademia Peloritana di Messina; dell'Accademia delle Scienze, Lettere ed Arti degli Zelanti di Aci-Reale in Sicilia ec. ec.

Verus experientiæ ordo primo lumen accendit, deinde per lumen iter demonstrat.

BACONE. Nov. Org.



VOL. II.



NAPOLI

STAMPERIA E CARTIERE DEL FIBRENO

Strada Trinità Maggiore N.° 26.

1846

TRATTATO ELEMENTARE

DI FISICA

APPLICATA

ALLE SCIENZE NATURALI ED ALLE ARTI.



CAPITOLO I.

ACUSTICA

1. L'ACUSTICA (da ακουω, *acoyo*, udire) è la parte della fisica che va indagando le leggi secondo le quali il suono si produce e si trasmette a noi per mezzo dell'organo dell'udito. Considerata essa teoreticamente, esige la più alta analisi matematica, e però facendo parte delle scienze fisico–matematiche, non può in quest' opera esporsi che in una maniera puramente elementare. Inoltre riguardata l'acustica sotto il rispetto della musica, ne differisce in quanto che la prima esamina il suono fuori di noi, o come indipendente dalle sensazioni che può destarci; e la seconda considerando il suono in noi, cioè nelle emozioni che può far nascere nel nostro spirito, e nelle passioni che può eccitare e modificare, dovendo specialmente cercare le relazioni de' suoni successivi e contemporanei, si occupa invece di ordinare e combinare i suoni prodotti dagli strumenti a ciò destinati, in modo da formare melodie ed armonie piacevoli. Ricercando dunque la musica più i principii di queste combinazioni ed i motivi delle sensazioni che in noi destano, che le cagioni da cui derivano, e le leggi alle quali sono sottoposte, deve essa far parte di un'arte liberale, la quale ha grande attenenza con la poesia e con la pittura, per la identità del soggetto; e perciò, sotto questa considerazione, essa diviene nella più parte del pari estranea in un' opera elementare di fisica.

2. L'acustica occupavasi una volta solo delle vibrazioni percettibili all'udito, ma presentemente dopo i tanti progressi fatti nella fisica, vi si è aggiunto anche lo studio delle vibrazioni che risultano dalle proprietà molecolari de' corpi, le quali quantunque indipendenti dalla sensazione che in noi destano, hanno nondimeno svelato molti principii che sono in grande correlazione con la costituzion molecolare de' corpi.

3. Considerati i corpi come aggregati di molecole tenuissime tenute a distanze più o meno sensibili, e dotati di elasticità varia, ogni volta che col mezzo dell'urto o dello sfregamento si perviene ad alterarne lo stato di equilibrio naturale in cui sono le loro molecole, queste allora presentano una serie di fenomeni dinamici complicatissimi, i quali consistono in moti tremuli intorno al punto percosso o confricato, che si propagano a distanze più o meno sensibili, producendo oscillazioni *isocrone* come quelle del pendolo, § 92, la cui ampiezza va, come in questo, diminuendo a misura che scema la intensità della forza viva che risulta dal moto impresso al corpo, o da questo al mezzo elastico in cui trovasi. Che se in questo mentre tali oscillazioni possono trasmettersi al nostro udito, sia dal mezzo elastico sia dal corpo stesso percosso posto in contatto coll'orecchio, ne proviene in noi quella sensazione che dicesi *suono*.

Il suono dunque è il prodotto delle vibrazioni impresse al corpo sonoro, e trasmesse all'orecchio per una successione di vibrazioni cagionate al mezzo che circonda il corpo percosso. Il perchè un corpo sonoro è propriamente quello che percosso produce suoni distinti e paragonabili fra essi, i quali van separati da quelli che cagionano *rumore*, cioè suono confuso, come succede nell'urto di una pietra contro l'altra, nel colpo di martello contro una tavola, del rumore de' carri che scorrono su le strade ec. E perciò un suono distinto è, in generale, sempre prodotto da corpi meglio elastici, e da un numero dato di oscillazioni in un tempo determinato, e può considerarsi sotto tre aspetti diversi: 1. nel corpo sonoro che lo fa nascere; 2. nella natura e densità del mezzo che lo trasmette all'organo dell'udito; 3. nella speciale costituzione di quest'organo che ne riceve la impressione. Per rapporto al primo, fra i corpi dotati di maggiore elasticità, troviamo che le corde, le molle di acciaro, le campane, le trombe acustiche, e gli strumenti da fiato, danno suoni più perfetti; nel secondo sappiamo che se l'aria è il veicolo generale del suono, nondimeno non debbe ritenersi come il solo fluido elastico che lo trasmette, perchè tutti gli altri gas, i vapori, ed i liquidi hanno similmente la facoltà di trasmettere i suoni, come ancora i corpi solidi. Noteremo solo, che l'aria e gli altri gas lo trasmettono meno de'

corpi liquidi, e questi meno de' solidi. Ed in ultimo, in quanto all' organo dell' udito che ne riceve la impressione, ove questo avesse imperfezioni naturali, o cagionate da posteriori alterazioni delle sue parti, i suoni saranno sempre meno percettibili, ed anche più o meno alterati nella stessa loro intensità.

Movimento di vibrazione ne' corpi sonori.

4. Quando un corpo sonoro è posto nello stato di vibrazione, sia con l'urto sia col confricamento, le sue molecole prima si allontanano dalla posizione di riposo, vi tornano subito dopo, e poi la sorpassano, oscillando a guisa d'un pendolo sino che si estingue l' effetto dell' urto comunicato al corpo sonoro. In questo mentre l'aria, o il mezzo circostante, riceve il moto dalle molecole vibranti, lo trasmette agli altri suoi strati seguenti, e così il moto impresso al primo strato si comunica a tutti gli altri, come succede in un sistema orizzontale di palle di avorio, in cui osservasi che il moto impresso coll' urto dalla prima alla seconda, si propaga sino all' ultima. Le molecole allora dell' aria, commosse per effetto della impressione primitiva venutale dal corpo urtato, dopo aver trasmesso il moto alle molecole seguenti, tornano allo stato di riposo, e così per le altre, sino a che la vibrazione prodotta propagatasi da molecola a molecola di aria, giugne all' orecchio posto a certa distanza del corpo percosso, ed avutane la impressione, il suono si estingue, perchè il moto vibratorio lo ha già portato innanzi. E di fatti, ove più osservatori si situassero a differenti distanze su la stessa linea, l'un dopo l'altro, il suono estinto presso il primo sarebbe di poi avvertito dal secondo, e così per gli altri sino a che non venga distrutto per la distanza.

Propagazione del suono e teorica delle onde sonore.

5. Gli antichi possedevano qualche nozione sul modo col quale il suono propagasi attraverso l' aria. Aristotile e Pitagora sapevano alquante particolarità su l'armonia prodotta dal suono, e trovansi in Vitruvio delle dottrine che hanno rapporto con le onde sonore e con la riflessione del suono. Bacone, Galilei, il P. Marsenna e Wallis eransi anche occupati a ricercar le leggi a cui potessero sottoporsi i fenomeni i quali diedero dopo fondamento a questa parte importante della fisica, che ora chiamiamo *acustica*. Ma era riserbato all'ingegno di Newton il sottoporre all'analisi matematica la propagazione del suono attraverso l' aria. Conoscendo egli esser questa un corpo eminentemente elastico, ammise come principio generale, dovere una percossa qualunque condensarla nella direzione ove essa operava, in modo che cia-

scuna molecola vibrata, avanzando e retrocedendo, formava onde di *condensazione* ed onde di *rarefazione*. La sua teorica nondimeno presentava non poche obiezioni, le quali fatte notare dapprima da Crammer, vennero dopo in certo modo corrette da Eulero e da Lagrangia.

6. Fatti questi primi passi, i fisici occuparonsi dopo a cercar nella propagazione del suono i mezzi di misurarne la velocità, ed il numero delle vibrazioni che ciascun corpo sonoro dava dopo la percossa. Tra questi, quelli intentati da Tartini, da Chladni e da Savart presentavano ancora delle imperfezioni. Ma l'apparecchio congegnato da Cagnard de Latour, detto *sirena*, dopo le modificazioni fattevi da Bocquillon, pare che ora presenti meno imperfezioni degli altri, ed è stato perciò adottato da' fisici. Col mezzo di questo strumento si è pervenuti a spinger molto innanzi i limiti presunti ove i suoni non più si avvertivano dall' organo dell' udito, e diminuir quelli in cui cominciava il suono a manifestarsi. Così il minimo numero che era di 32 vibrazioni per secondo, è sceso a 16, ed il massimo che era di 10 a 12 mille si è elevato a 48000, e dopo è stato portato sino a 73000; il che permette ora dedurne, che il nostro organo dell' udito, è formato con un ordine così ammirevole, che esso può avvertire i suoni che sono compresi fra questi due estesissimi limiti, cioè da 16 a 73000 vibrazioni per secondo.

7. Le vibrazioni de'corpi sonori sono *trasversali*, *longitudinali*, e *ornanti* o *circolari*. Le prime possono osservarsi nelle corde, quando fissate pe' due estremi si pizzicano, perchè esse si allontanano dalla posizione di riposo, e si veggono oscillare più o meno rapidamente, secondo che la corda è più o meno lunga e più o meno tesa. Le seconde succedono nel senso della lunghezza de' corpi vibranti, e consistono nel movimento che dicesi di *va* e *viene* delle molecole urtate; e le ultime, cioè le vibrazioni circolari, si diffondono seguendo un moto di rotazione.

8. La trasmissione intanto del suono non ha luogo se non attraverso i corpi ponderabili, perchè nel vòto non succede. Può ciò provarsi sospendendo un orologio a campana sotto un recipiente situato sul piatto di una macchina pneumatica: mentre l' aria riempie la campana, il suono è abbastanza sensibile, ma non appena comincia ad estrarsene, il suono diminuisce a poco a poco, sino a che, vicino a farsi il voto, si estingue del tutto, quantunque si vegga il martello urtar contro la campana. L' orologio può anche situarsi sopra un cuscinetto pieno di cotone o di lana per impedire che il suono si trasmetta attraverso il piatto su cui poggia. E per operare in un modo più semplice, può in un recipiente chiuso con robinetto sospendersi un campanello attaccato ad un filo di seta. Agitandolo quando l' aria lo riempie, il suono è sensibile, ma se essa ne viene estrat-

ta col mezzo della macchina pneumatica, chiusane la chiave, agitando il campanello, il suono non più si avverte, ec.

Lo sperimento può farsi anche con due recipienti, uno più piccolo che racchiude l'orologio, ed uno più grande che lo covre. Il tutto stando situato come precedentemente, quando l'aria viene estratta dalla campana esteriore, quantunque ne fosse piena quella in cui trovasi l'orologio, il suono è del pari nullo, perchè con essa la macchina pneumatica non ha alcuna comunicazione. L'effetto ha similmente luogo quando in vece di aria si adopera qualunque altro fluido aeriforme, o i vapori.

9. La trasmissione del suono attraverso i liquidi anche succede più rapidamente. Collandon e Sturm han conosciuto, che la velocità del suono attraverso l'acqua era di 1435 metri per secondo. Le loro sperienze furon fatte sul Lago di Ginevra; ma tale trasmissione non è stata ancora abbastanza spiegata. Dovendo la velocità del suono dipendere dalla compressibilità de' corpi, i liquidi son sì poco comprensibili, che molte obiezioni presentano ancora perchè questa si provi in un modo assoluto, e perciò la meccanica li ritiene ancora come incomprensibili. Nondimeno sappiamo che coloro che s' immergono sotto l'acqua, e quelli che vi scendono nella campana da palombajo, sentono benissimo il suono fuori l' acqua, ed anche quando vi si parla a certa distanza. Inoltre, quando due corpi solidi si percuotono sotto l' acqua, essi eccitano un rumore che si fa sentir da lontano. Il liquido viene in quel mentre scosso direttamente in tutt' i punti che sono in contatto de' corpi solidi vibranti, come lo sono i gas da' freniiti di una campana.

10. I corpi solidi non solo producono suoni distinti, ma essi li trasmettono per mezzo di vibrazioni analoghe a quelle che si manifestano nella trasmissione del suono attraverso l'aria, ma con una velocità assai più grande. Fattosi lo sperimento con una verga di ottone, si trovò che il suono percorreva in un secondo 3596^m,58, mentre nell'aria a+16.° ne percorre solo 340^m, 88 per lo stesso intervallo di tempo. E di fatti mettendo l'orecchio all' estremità di una lunga tavola, si sente benissimo il più leggiero urto che se gli comunica in un punto della estremità opposta; ma occorre qui notare, che ciò succede nella direzione delle fibre longitudinali solamente, perchè in quella delle fibre traversali l' effetto è poco sensibile. Ove poi la tavola, o una sbarra metallica fossero molto lunghe, si avvertirebbero allora successivamente due suoni distinti, cioè uno trasmesso dalle oscillazioni delle molecole del corpo solido vibrante, e l' altro da quelle dell' aria che lo circonda.

11. Allorchè il suono si propaga attraverso una massa di aria, si trasmette in tutt' i sensi, ma la sua intensità diminuisce con la distanza, ed a misura che l'aria diviene più in più

meno densa. Così il suono è sempre più intenso nelle parti basse dell' atmosfera ove l' aria è più densa, che alla sommità di un monte in cui trovasi più rarefatta.

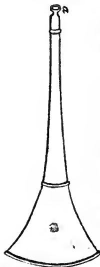
Nel momento che il suono si propaga, l' onda non è sempre sferica, ma diviene tale poco dopo, dappoichè il suono si avverte egualmente in ogni punto intorno a quello che lo produce, e la sua intensità dipende dal grado di forza dello scuotimento primitivo impresso al corpo sonoro, la quale in generale, fuori qualche eccezione, va decrescendo a misura che il suono si allontana dalla sua origine.

Dietro queste considerazioni, per formarci un'idea più precisa della propagazione del suono, suppogniamo che una massa di aria posta in uno spazio indefinito ripieno della stessa aria, si dilati subitamente per una cagione qualunque. L' aria dilatata spingendo rapidamente le molecole di aria circostanti le une su le altre, appena queste vengono condensate, reagiscono, per la maggiore elasticità acquistata, e trasmettono la impulsione agli strati vicini, i quali la comunicano da luogo in luogo agli altri strati successivi. L' onda che formasi è circolare, ed analoga a quella che vedesi su la superficie dell'acqua, quando è percossa in un punto; a differenza che le onde dell'acqua hanno più altezza di liquido in un punto che in un altro, e quelle dell'aria consistono in una maggiore densità in certe parti soltanto.

12. Ammettiamo ora che l'aria percossa trovisi racchiusa in uno spazio definito, come in un cilindro aperto. In questo caso l'aria formerà una rarefazione intorno a se stessa, la quale si propaga similmente da luogo a luogo. Possiamo ancora immaginare una massa di aria dilatata per una cagione qualunque, e poi abbandonata a se stessa; perchè questa si rimetta in equilibrio con quella circostante, deve diminuirsi di volume, precipitarsi nel vòto per la elasticità acquistata, e per una specie di sbalzo, urtar contro la prima massa di aria, e condensarla. Questa allora, per la sua elasticità aumentata, reagendo, produrrà un seguito di oscillazioni, le une capaci di condensare, le altre di dilatare, le quali si propagheranno come le prime; cosichè, a partir da questo centro di scuotimento, avrà luogo una successione di strati di aria sferici, alternativamente condensati e rarefatti o dilatati, e queste oscillazioni cesseranno subito che manca la cagione che le ha prodotte.

In questo caso comunicandosi lo scuotimento sfericamente, esso mette in agitazione un numero di molecole di aria maggiore a misura che si allontana, ed in conseguenza deve nello stesso tempo farsi più debole; dappoichè è principio generale di meccanica, che una cagione qualunque produce tanto minore effetto sopra una serie di corpi, quanto è maggiore il numero di essi. Il perchè il suono scema a misura che si propaga in uno spazio li-

bero, ed aumenta in uno spazio circoscritto, che è il caso esposto del cilindro aperto. E difatti, quando parlasi attraverso un condotto, la voce sentesi a maggiore distanza che parlandosi nell'aria libera. Così Biot parlando a bassa voce all' estremità di un condotto di ferro fuso lungo 951^m, era inteso perfettamente dalla estremità opposta; che anzi volendo egli sperimentare se abbassando il più possibile la voce, questa non pervenisse alla estremità di quell' acquidotto, trovò che essa era ancora intesa. E disposta altra persona che nella estremità opposta rispondesse subito alla sua domanda, osservò che dal primo al secondo intervallo passavano appena 5″,58; cosicchè il suono percorreva in questo tempo due volte la lunghezza dell' acquidotto, cioè 1902 metri. Biot osservò inoltre l' effetto di un colpo di pistola tirato dall' apertura della estremità opposta dell' acquidotto. L'esplosione diveniva nell' altra considerevole, e l' aria ne era cacciata via con tanta forza, da produrre su la mano l'effetto di un vento impetuoso, e ciò avveniva in due minuti secondi e mezzo attraverso un condotto lungo 951 metro. Ma il suono può crescere ancora d'intensità quando si dà al condotto la forma di un cono, e la ondolazione si fa cominciare per la parte più larga, ascoltando il suono dalla parte più stretta. Sopra questo principio sono formate le *trombette acustiche*, il *portavoce* de' marini, ec.



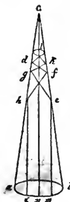
13. ***Portavoce***, o ***tromba parlante***. Si usa sopratutto nel comando delle flotte. Esso è costrutto su lo stesso principio, cioè quello di accrescere o rinforzare il suono in uno spazio circoscritto. Se gli dà diversa forma, la quale d'ordinario è quella di un cono allungato, che qualche volta si allarga a guisa di trombetta, come si scorge nella figura. Per usarlo, situate le labbra alla estremità *a*, si ha cura di ben pronunziare le parole. Con questo strumento il suono è trasmesso a grande distanza, ed ove la sua lunghezza fosse di 4 piedi, potrebbe portar la voce a 250 passi geometrici, ed a 2500, se fosse lungo 24 piedi.

Comunque la teorica di questo strumento fosse poco conosciuta, si sa nondimeno che esso conserva e rinforza il suono. L'effetto dipende dalla lunghezza del condotto e dall'estensione della parte che si allarga insensibilmente in giù. Si dà anche a questa parte la forma di una parabola, che forse sarebbe da preferirsi; e tutti sanno come si perviene, quantunque meno energicamente, allo stesso fine, congiungendo da una parte le palme del-

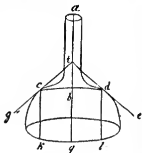
le mani vicino le labbre, e tenendole dall' altra alquanto allargate, allorchè nell'aperta campagna vuolsi spinger più lontana la voce ec.

Ma per dare in qualche modo ragione degli effetti del portavoce, fa duopo osservare che in questi strumenti la distribuzione della forza d' impulsione determinata dallo scuotimento primitivo, viene limitata dalle pareti dello strumento. In questo mentre le particelle di aria comprese nella capacità del portavoce, ricevono, ad una data distanza del centro del movimento, tutta l' impulsione che all' aria libera si sarebbe comunicata a tutta un'onda sferica di maggiore ampiezza, e perciò esse vengono più fortemente scosse. Il perchè nell' uscir dalla estremità dello strumento, debbono comunicare una più forte impulsione all' aria circostante, che se il movimento vibratorio si fosse comunicato nel primo istante in tutta la massa di aria. Perciò l' aumento di forza debb' essere altrettanto più grande, quanto il condotto sarà meglio disposto per trasmettere il suono parallelamente al suo asse, lo che meglio si raggiugne dando allo strumento la forma di una parte d' iperbole che ha per assintoto l' asse del condotto, cioè una linea retta a cui una linea curva si avvicina continuamente all' infinito senza mai incontrarla. Si è creduto, e rapportato in alcune fisiche, esser necessario che il portavoce si facesse di un metallo sonoro; ma sembra che ciò non occorra, perchè la natura del metallo non ha alcuna efficacia sopra i suoi effetti, mentre quando anche lo strumento si covrisse di stoffa nell' interno, nondimeno l' effetto sarebbe lo stesso.

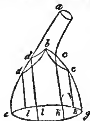
14. Ma fra le tante altre costruzioni e forme della tromba parlante, la più semplice e forse migliore è quella rappresentata dalla figura che vedi. I raggi sonori *ld*, *lk* che dalla bocca s'insinuano per l'apertura dello strumento, sono riflessi dalle pareti in modo, che gli angoli d'incidenza *g f* che sono eguali agli angoli di riflessione, vanno sempre diminuendo, e pervenuti nel punto *h e* prendono la direzione *hi*, *em*, e perciò non fanno più angolo alcuno coll'asse *cn*. Supponghiamo *p* l'angolo *acb*, *q* il primo angolo d'incidenza *ldc*; essendo questo eguale a *fda*, primo angolo di riflessione, si avrà per il secondo angolo d'incidenza $cfd = q' = q - p$; poichè essendo eguali a due retti tanto i tre angoli di un triangolo, quanto gli angoli che fa una retta che cade sopra di un'altra, si avrà nel triangolo *cdf*, $p + q' + fdc = fdc + fda + fdc + q$; $p + q' = q$; $q' = q - p$. E per la stessa ragione l'angolo $chf\ (= q'') + p + c$ $fh = cfh + hfb$; $q'' = hfb - p = cfd - p = q - p - p = q - 2p$.



Medesimamente si troverebbero gli altri angoli d'incidenza espressi per $q - 3p$; $q - 4p$; $q - np$, ec. lo che comprova che il valore di questi angoli va sempre così diminuendo, e non appena che sia ridotto $= 0$, il raggio non può più tagliar l'asse ed essere riflesso. Onde se intendasi prolungato indefinitamente in dirittura del cono un cilindro che abbia per base la base del cono stesso, niun raggio sonoro potrà più uscir da questo cilindro, e perciò tutt'i raggi riuniti dovranno in conseguenza portare il suono, fattosi più intenso, a maggiore distanza. Lambert, ha proposto una teorica di questa tromba, inerendo alla ipotesi predetta, cioè di riguardare simile a quella de'raggi lucidi la riflessione de'raggi o delle onde sonore. (*Mem. per l'Accademia di Berlino 1763*).



Un'altra bonissima tromba parlante è formata da una lunga canna *a t*, che finisce unendosi ad una paraboloide tronca, il cui foco *b* cade nell'estremità dell'asse di detta canna. La voce entrando per l'apertura *a*, eccita nella colonna di aria un moto oscillatorio, che riflesso successivamente da tutt'i punti della parte della canna si rende viemaggiormente intenso, e pervenuto così nel foco *b* della paraboloide, da ivi diffondesi per tanti raggi, o onde sonore *b c*, *bd*, ec., le quali urtando contro le pareti paraboliche formano gli angoli d'incidenza *bdt*, *bct*, e ne vengono riflessi con gli angoli *e dl*, *gck*, eguali a' corrispondenti angoli d'incidenza; il perchè essendo costantemente isosceli nella parabola i triangoli *btc*, *btd*; cioè *tb* = *cb*, *ang. tcb*=*ang. btc*, e *td* = *tb*; *ang. dtb* = *ang. bdt*, sarà *ctb*=*gck*; *btd* =*edl*, e perciò i raggi sonori riflessi *d l*, *ck* saranno paralleli all'asse *bq*, ed in conseguenza propagandosi così raccolti come quelli che escono dalla tromba conica, la loro forza sarà meno rallentata, e potranno fare più energica impressione sul nostro organo acustico, quando anche fosse a maggiore distanza dall'origine del suono.



15. *Cornetto acustico.* — È una specie di portavoce rovesciato. Esso adoperasi da coloro che hanno dura la sensazione dell'udito, e serve a concentrare le ondulazioni aeree perchè il suono giunga con maggiore intensità sino al timpano. La forma più ordinaria ricevuta è la conica, o come quella che vedesi nella figura di lato, che più si avvicina alla forma parabolica. La parte più stretta *a* del condotto

che si mette in contatto dell'orecchio, spesso si curva ad angolo ottuso in *c*, affinchè la sua apertura più larga si trovi disposta parallelamente al viso, e la persona che ne fa uso possa starsi dirimpetto a quella con cui parla. La totale lunghezza del cornetto acustico d'ordinario poco varia da un piede ad un mezzo piede.

Supponghiamo il cornetto acustico di forma paraboloide come quello della figura antecedente. Insinuandosi la voce per la grande apertura *e g* essa deve eccitar nell' aria un moto oscillatorio, e così urtando nelle pareti, o perimetro della paraboloide, secondo i raggi paralleli *l d*, *k c*, ne viene riflessa secondo i raggi *d b*, *c b*; il perchè le onde sonore tutte debbono condensarsi nel foco *b*, e perciò l'aria prossima a questo punto acquista una vibrazione assai energica, la quale comunicandosi all' aria contenuta nel condotto *b a*, rinvigorita dalla ripercussione delle pareti dello strumento, va per l'orifizio *a* ad urtare con forza l' organo contiguo del timpano.

16. ***Onda sonora.***—Si è detto potersi in generale ritenere, che il suono si propaga attraverso l' aria per una successione di vibrazioni concentriche, simili presso a poco a quelle che si formano su la superficie delle acque in riposo percosse in un punto. Il corpo sonoro dunque è centro del moto ondulatorio, e perciò le onde che ne risultano le une sono *dilatate* le altre *condensate*.

L' onda sonora consiste in un filo circolare formato di molecole a cui è stato comunicato il moto. Nella trasmissione del suono, il movimento delle molecole vibrate e quello da queste comunicato al mezzo elastico, è sempre un *moto di vibrazione*. Alcuni corpi sonori compiono queste oscillazioni sensibili durante il tempo che essi impiegano a produrre il suono. Il fenomeno è poi visibile all' occhio negli strumenti a corda, quantunque in essi le oscillazioni fossero assai rapide. Queste oscillazioni, o questo moto di *va* e *viene*, è ciò che in acustica si chiama *vibrazione*; ed una vibrazione è propriamente il cammino che percorre da un limite all' altro la molecola posta in moto dopo l' urto prodotto sul corpo sonoro.

La forma e la celerità con cui si trasmette l'onda sonora, dipende dalla elasticità del corpo vibrante e del mezzo che lo circonda, il quale può variar per la densità naturale, e per quella prodotta da cagioni estrinseche. La comunicazione delle vibrazioni del corpo sonoro, sarà altrettanto più rapida per quanto la elasticità del mezzo sarà più grande; ma essa può venire ritardata da un grado maggiore di densità dello stesso mezzo, abbisognando allora più tempo perchè il moto vibratorio si comunichi nello stesso intervallo ad un maggior numero di molecole. Ma le ampiezze delle vibrazioni benchè si facessero a poco a poco, come quelle del pendolo, di più in più piccole per le resi-

stenze, esse sono nondimeno, come in questo, anche isocrone; dappoichè ove supponghiamo costante la elasticità del mezzo, nel senso della vibrazione, la molecola vibrante dovrà trovarsi nelle stesse circostanze del pendolo. Adunque posto che l'intera molecola aerea circostante sia di eguale densità ed elasticità, quello che avviene secondo un raggio condotto dal centro di vibrazione, deve avvenire per tutti gli altri raggi condotti dallo stesso punto vibrante. E però le molecole poste sopra questi raggi ad egual distanza dal centro di vibrazione, dovendo vibrare allo stesso modo, è manifesto che il mezzo circostante deve vibrare a strati sferici, e l'onda dev'essere essa stessa sferica.

17. La teorica delle onde sonore ha pure molto rapporto con quella dell'*etere* luminoso, e per meglio intenderla, suppongasi una lamina elastica posta all'estremità di una colonna cilindrica di aria contenuta in un condotto aperto della stessa forma. Spingasi per poco in avanti con urto istantaneo questa lamina, e dividasi la colonna di aria verso la quale la lamina urtata si avanza, in tanti strati o lamine di aria estremamente piccole, le quali servono a far comprendere la successiva comunicazione del moto. In questo caso, il primo strato di aria percosso dalla lamina vibrante, non trasmette il suo moto istantaneamente agli strati di aria susseguenti, a cagione della sua grande compressibilità, e del tempo che il moto impresso esige per comunicarsi, e perciò lo strato di aria dovrà prima condensarsi per la resistenza che il mezzo elastico stesso gli oppone. Allora in virtù dell'eccesso di forza elastica acquistata, lo strato compresso tornerà alla densità di prima, comprimendo lo strato di aria susseguente, il quale dopo avere anch'esso ceduto alla forza elastica del primo, opererà medesimamente sopra l'altro strato che viene appresso, e così di seguito, in modo che gli strati di aria che sono al di là della lamina vibrante, provando successivamente una condensazione ed una dilatazione, e torneranno al volume primitivo, come se uno strato di aria o una lamina di essa infinitamente piccola si movesse parallelamente a se stessa, provando ad ogni istante condensazione e ritorno al volume primitivo. Or tornando la lamina vibrante sopra se stessa, deve produrre nello strato di aria contigua una dilatazione che si comunica agli strati successivi, nello stesso modo delle condensazioni che provengono dalla escursione primitiva. Il perchè supposto che le vibrazioni della lamina succedano istantaneamente, dovendo cagionare ciascuna escursione un'onda condensata ed un ritorno alla densità primitiva, darà un *onda dilatata*.

18. S'immagini ora una lamina vibrante *ab* fissata pe' suoi estremi alle aperture del lungo cilindro *ab*, *mn*, come vedesi se-

gnato qui sotto. Chiamiamo ab il centro delle oscillazioni, $a'b'$, $a''\,b''$ i limiti delle escursioni di detta lamina, ne' quali quando essa vi arriva, il movimento è distrutto. Ammettiamo ora che il moto cominci da $a''\,b''$; allora la sua velocità aumenta sino al centro di vibrazione cioè in $a\,b$, e perciò ivi trovasi al suo massimo, e da quivi decresce sino ad $a'b'$, ove diviene nullo. La lamina nondimeno, per effetto della sua elasticità e del moto primitivo impressole, ritorna come il pendolo, ma in senso inverso nella posizione di $a\,b$, la sorpassa, e perviene di nuovo in $a''\,b''$, perdendo da ab di velocità, come nel primo caso. Essa similmente torna in $a'b'$ e così di seguito, sino che dura il movimento vibratorio. Le vibrazioni intanto comunque si facessero a poco a poco sempre più piccole, sono non pertanto isocrone come quelle del pendolo. Il cammino poi da $a''b'$ sino ad $a'b'$ e ciò che chiamasi *vibrazione*, e l'insieme de' punti agitati mentre da ultimo la lamina vibrante compie una vibrazione, si dice *onda sonora*; lo spazio percorso dal suono nell'aria, ovvero in altro mezzo elastico aeriforme, nella durata della vibrazione della lamina elastica, dà la *lunghezza* totale dell'onda sonora.



19. Nel caso supposto, la lamina elastica trovandosi in $a''b'$ al primo momento della sua vibrazione, la prima molecola di aria che l'è più prossima, riceve l'urto, lo trasmette all'altra appresso, e dopo entra in riposo. Al secondo istante essa riceve un urto più vivo, lo trasmette come prima, e così di seguito, aumentando di elasticità ad ogni istante successivo, sino che acquisti il suo *massimo* in $a\,b$, ove l'urto diviene il più forte possibile. Ma a partire da questo momento, per le ragioni esposte più innanzi, l'urto diminuisce di più in più progressivamente, sino che pervenuta la lamina nell'altro limite $a'\,b'$, si estingue del tutto. L'effetto dunque di questi urti successivi è di spingere le molecole di aria le une su le altre, e perciò l'onda che ne risulta dicesi *condensata*. Nel tornar poi la lamina vibrante da $a'b'$ ad $a''\,b''$, dovendo l'aria occupare il vòto che quella lascia dietro di se, acquista una velocità inversa, e tende ad avvicinarsi al centro di vibrazione, che si è detto essere in $a\,b$. Ne risulta perciò, che il moto delle molecole di aria ritarda per tutto il tempo che impiega il suono a propagarsi, ed in conseguenza ne deriva una dilatazione nell'aria, cioè una *onda dilatata*. Una *ondulazione* dunque si compone dell'onda condensata e dell'onda dilatata. Inoltre a ciascuna vibrazione del corpo sonoro corrisponde un' *ondulazione aerea*, la quale si aggiugne a quelle che già sono, e la lunghezza di ciascuna on-

dulazione è la stessa e sempre composta di una parte condensata e di una parte dilatata.

20. Esaminiamo ora in qual modo le densità e le velocità variano nelle onde elementari che costituiscono le onde condensate e le onde dilatate. Le onde elementari si succedono nello stesso ordine che i movimenti elementari che le hanno prodotte. Or quando l'aria è percossa da un corpo solido, essa prova sempre due effetti, cioè un moto di trasporto, ed un moto di condensazione, i quali variano sempre nello stesso senso, perchè la comunicazione del moto succede per l'elasticità delle molecole, ed in conseguenza il moto di ciasuna molecola debb'esser proporzionale alla condensazione a cui è sottoposta. Il perchè è facile comprendere come in una vibrazione del corpo sonoro, il massimo della velocità deve succedere verso la metà della escursione della molecola posta in moto, cioè in ab (§. 18), e che deve ancora diminuire a misura che si avvicina a' due limiti cioè in $a'b'$, $a''b''$, ove essa è nulla; lo che conduce ad un'assimilazione fra questi movimenti vibratorii con le oscillazioni del pendolo, dappoichè una velocità non può mutar direzione che quando diviene nulla, lo che non può succedere che per gradi insensibili. Le onde dunque elementari saranno altrettanto più condensate, ovvero altrettanto più dilatate, per quanto saranno state prodotte da moti elementari più prossimi al centro del movimento $a\,b$; ed esse avranno velocità di traslazione altrettanto più piccole, per quanto provverranno da'movimenti elementari più prossimi ai limiti $a'b'$, $a''b''$ della loro escursione; e perciò in un'onda dilatata, ovvero condensata, il massimo di condensazione o di dilatazione e di velocità deve succedere verso il mezzo, cioè in ab.

21. In siffatto modo la propagazione del suono si è considerata in uno spazio cilindrico, cioè limitato. Ci resta esaminarla in uno spazio illimitato. Supponghiamo ora un solo punto percosso; il suono si propaga per onde sferiche concentriche, come succede quando si gitta una pietra nella superficie dell'acqua in riposo, il cui centro sta nel punto aggitato. Ma ove più punti fossero nello stesso tempo percossi, che è il caso più generale, allora ciascun d'essi diviene centro particolare di onde sferiche che gli si dilatano intorno. Se le vibrazioni di ciascun punto succedono nello stesso tempo, le onde s'intersecheranno sotto angoli più o meno grandi, i quali diminuiranno a misura che le onde si faranno più grandi, sino che finiranno per confondersi, ove si suppongono pervenute ad una distanza sufficiente dalla loro origine; ma se le vibrazioni di questi punti fossero differenti, i moti elementari delle onde soprapposte, non dovranno più seguire la

onde sonore le quali si propagano senza confondersi; dappoichè fra queste ondulazioni le une si accordano e si rinforzano, le altre s' interpongono e si distruggono più o meno; ma per la proprietà che ha il suono di trasmettersi lateralmente, ne risulta ben presto un moto vibratorio comune, il quale deve di conseguenza impedire che i suoni si distruggano vicendevolmente.

22. Da quanto precede rileviamo come più suoni possono propagarsi simultaneamente attraverso l' aria senza confondersi, come succede quando più onde circolari si formano nella superficie dell' acqua, le quali si veggono intersecarsi scambievolmente senza che le une disturbino il cammino delle altre. Il fenomeno intanto ha luogo nel modo espresso solo quando i moti di vibrazione non eccedono un certo limite, ma se questi fossero violenti, le onde diverrebbero tumultuose e si modificherebbero mutuamente. Così quando due o più persone parlano ad alta voce i suoni divengono confusi, come succede in quello de' tamburi, in cui il suono altera talmente quello della voce, che comunque si fosse assai prossimi, non sarebbero in alcun modo avvertite le parole pronunziate. Codeste considerazioni dunque su la propagazione simultanea delle onde sonore, sono in accordo con la teorica, la quale ci apprende, che quando più suoni partono nello stesso tempo da punti differenti della loro origine, essi arrivano all' orecchio senza alcuna alterazione. E difatti i suoni prodotti da diversi strumenti di un' orchestra, non provano, per la loro simultaneità, alcuna modificazione, e ciascuno di essi ci produce quella sensazione che avremmo se il suono fosse solo. Questa conseguenza deriva da un principio generale di meccanica, conosciuto col nome di *principio di coesistenza delle piccole oscillazioni*, il quale consiste in questo: tutte le volte che un sistema qualunque è sottoposto all' azione simultanea di più forze capaci d' imprimergli movimenti assai piccoli, gli effetti che risulterebbero dall' azione isolata di queste forze, stanno insieme senza alterarsi nè confondersi. Questa legge è vera, quando i movimenti che tendono ad imprimere le forze sono, come si è detto, assai piccoli, perchè se una o più di dette forze sorpassa un certo grado di energia, la coesistenza di sopra espressa non avrebbe più luogo. La teorica è dunque in perfetto accordo con i risultamenti dell' esperienza di sopra esposti.

Ed in ultimo, la celerità delle vibrazioni nella propagazione del suono varia col variare il rapporto fra la densità e la elasticità dell' aria, e perciò si hanno suoni più o meno acuti nelle stagioni e climi più o meno caldi, e ad altezze più o meno grandi della stessa colonna di aria. Così Gay-Lussac eleva-

tosi sino a 7000 piedi in un globo aereostatico, sentiva appena la sua voce comunque la spingesse fuora con forza, lo che derivava per la troppo debole densità dell'aria in quella così elevata regione.

Velocità del suono.

23. La velocità del suono fu dapprima valutata a 1038 piedi per secondo, ma sottoponendo dopo i fisici al calcolo il modo di propagarsi del suono, pervennero a stabilire, 1.° che in una massa di aria di temperatura costante, la velocità è costante; 2.° che la velocità resta la stessa qualunque si fosse la densità del fluido aeriforme nel quale succede la propagazione del suono; 3.° che la velocità è indipendente dalla intensità e qualità del suono, ed in ultimo, supponendo l'aria alla temperatura di + 6 centigradi, il calcolo dava, che il suono doveva percorrere 286^m, 78 per secondo. L'esperienza ha confermato in seguito questi risultamenti, meno l'ultimo, che si è ora portato a 337,18 metri per secondo a + 6°, perchè a + 16°, essa è di 340, 88. Questi ultimi risultamenti provarono ancora, 1.° che la velocità del suono era costante, o che in un tempo doppio, triplo ec. il suono percorreva uno spazio anche doppio, triplo ec.; e perciò questo spazio era, in generale, proporzionale al tempo impiegato a percorrerlo; 2.° che la velocità restava la stessa pe' suoni tanto gravi che acuti, in un tempo sereno, nuvoloso, ovvero piovoso, e che la pressione barometrica comunque grande o piccola, non alterava nè diminuiva il suo valore, quante volte l'aria era tranquilla, perchè il vento può con la sua velocità, alterar la direzione e la velocità del suono; per modo che se la direzione del vento coincide con la direzione del suono, la velocità di quest'ultimo sarà aumentata o diminuita, secondo che la velocità del vento cospira o è opposta a quella del suono.

24. Newton fu il primo che diede l'espressione analitica della velocità del suono, ma questa dava appena i $\frac{5}{6}$ del valore reale della velocità ottenuta con l'esperienza. I geometri, dopo le tracce di Newton, partendo dalle note leggi del moto, pervennero a questi risultamenti, cioè, che la velocità del suono è eguale alla radice quadrata del rapporto dell'elasticità dell'aria alla sua densità; ma le formole adottate, diedero appena 282^m per secondo alla temperatura di + 6.°, lo che poi non si trovò in accordo coll'esperienza, perchè dopo questa, si è detto esser la velocità di 337^m,18. Laplace rinvenne in seguito la ragione di quest'anomalia. Egli provò che il suono non può attraversare un mezzo qualunque senza comprimerne le sue molecole, e perciò nella propagazione del suono per mezzo di fluidi espansibili, le piccole compressioni

prodotte dalle vibrazioni del corpo sonoro, debbono cagionare svolgimento di calorico, il quale deve aumentare la elasticità del fluido espansibile, e la velocità ancora del suono. Il perchè introducendo Laplace tale correzione nel calcolo, pervenne a risultamenti i quali poco differivano da quelli cavati dalle sperienze fatte da Laroche e Berard (1).

25. I primi sperimenti per determinare la velocità del suono furon fatti da Marsenna e Cassini, e poscia altri fisici, e sopratutto Boyle, Bianconi, Flamsteed ed Halley, e l'Accademia del Cimento, li ripeterono con più o meno successo. Così essa velocità valutata a 1038 piedi per secondo, attirò dopo l'attenzione dell'Accademia delle Scienze di Parigi, ed una commessione composta da Lacaille, Maraldi, Cassini e Thury, ebbe incarico di rifermare o correggere i risultamenti ottenuti precedentemente (2). Le stazioni prescelte furono, l'Osservatorio, la piramide di Montmartre, Montlhery, il molino di Fontenay-aux-Roses, ed il castello di Lay. Si fece uso del cannone che si sparava successivamente, e per evitare l'influenza del vento, si facevano partire da due punti de' colpi reciproci di cannone (3), de' quali solo quelli di Montmartre e Montlhery furon tirati simultaneamente. Per la misura del tempo si fece uso di pendoli a secondi, e per la densità dell'aria, osservavasi il barometro, il termometro, ec. I risultamenti provarono, che la velocità del suono era costante, che essa è la stessa tanto in un tempo sereno che piovoso, di giorno o di notte, e quale che siesi la direzione del tiro del cannone. La velocità media del suono venne in siffatto modo valutata a metri 332,9 per ciascun secondo, alla temperatura di zero centigrado.

Altre sperienze vennero ripetute da Lacaille e Cassini fra Aigues-Mortes e Cette, ad oggetto di esaminare l'influenza del mare vicino, e di un clima differente (4). La distanza de' due luoghi fu valutata a metri 43574, ma non si fece uso di colpi reciproci, cioè che partissero nello stesso tempo dalle due stazioni. La stessa ommessione fu fatta da la Condamine a Quito

(1) L'espressione algebrica che rappresenta la velocità del suono è $\sqrt{\frac{gH}{d}}$. H è l'elasticità o la pressione dell'aria, d la densità dello stesso fluido e g la gravità. Or prendendo la densità dell'aria alla pressione media, cioè o,^{m} 76, ed a zero grado centigrado, e g sotto la latitudine di Parigi, cioè 9^{m},809, si avrà $H = 0^{m}, 76$; $d = \frac{1}{10463}$ della densità del mercurio, e $g = 9^{m}, 809$, lo che conduce a 279^{m}, 28 per la velocità del suono a zero grado.

(2) *Mémoires de l'Academie des Sciences*, 1738, pag. 128.

(3) *Histoire de l'Academ. des Sciences*, 1738, pag. 2.

(4) *Mémoires de l'Academie des Sciences*, 1739, pag. 119.

nel 1740, ed a Cayenna nel 1744, e però i risultamenti nel primo diedero per la velocità 339 metri per secondo, e quelli fatti a Cayenna 357, differenza, come vedesi, assai rilevante (1).

26. Gli sperimenti fatti da Muller a Gottinga nel 1791, furon fatti anche con poca previdenza, e perciò le medie delle quattro serie di osservazioni furon poco concordanti fra loro (2). Anche negli sperimenti fatti da Dezenberg nel novembre del 1809, fra Dusseldorf ed il campanile di Ratingen, distanti 9072 metri, non si fece uso di colpi reciprocí, e quantunque egli si valesse per la misura del tempo di un orologio a fermata del Pfaffius, in cui il giorno era diviso in dieci milioni di parti, nondimeno gli effetti furono anche poco concordanti fra loro (3).

Goldingam, astronomo a Madras reiterò le sperienze con più di 800 colpi di cannone tirati dal forte s. Giorgio e dalla Caserma di Artiglieria del monte s. Tommaso, scegliendo gl' intervalli di tempo fra il lampo ed il suono, valutati in un' aria perfettamente tranquilla, e giovandosi della formola data da Newton per ridurre la temperatura dell' aria a zero grado, trovò che la velocità del suono era di 331 metri per ciascuno secondo (4).

27. Trascuratasi da sì valenti sperimentatori la reciprocanza dei colpi, su che gli accademici francesi, e soprattutto Arago, insistevano doversi dar tutta l' importanza, standosi perciò i risultamenti in tanta discrepanza, per mettere un termine a tali incertezze, l' Uffizio delle longitudini nel 1822 sollecitò la nomina di una Commessione incaricata di determinare esattamente la velocità del suono con esperienze più rigorose, dovendosi tener conto della deduzione che ne faceva di recente, Laplace, dietro i nuovi sperimenti di Gay-Lussac fatti sul calorico specifico dell' aria (5).

Le due nuove stazioni prescelte furono Villejuif e Montlhéry, la cui distanza, calcolata trigonometricamente da Arago, fu trovata di metri 18613. In ciascuna di essa eravi un cannone da 6, e cinque cronometri a fermata servivano a misurare il tempo. Alla postura di Villejuif eranvi de Prony, Arago e Mathieu: il cannone era comandato dal capitano Boscary. Nell' altro luogo di Montlhéry, gli osservatori erano de Humboldt, Gay-Lussac e Bouvard, ed il cannone lo coman-

(1) *Journ. du Voyage fait par ordre du roi à l'Equateur*, tom. 1. pag. 98. et *Mémoires de l' Academie des Sciences*, 1745, p. 488.
(2) *Goettingisehe Anzeingon von gelehrten Sachen*, 1791, pag. 1593.
(3) Gilbert's *Annalen der physik*, tom. 35. pag. 383. an. 1810.
(4) Poggendorff's *Annalen der Physik*, tom. V, pag. 486.
(5) *Sur la vitesse du son, par* M. de Laplace. *Connaissance des Temps*. 1825 pag. 372.

dava il capitano Parnelty. Gli sperimenti furon fatti nella notte degli 11 Giugno 1822; il cielo era sereno e l'aria quasi calma.

Erasi convenuto che da ciascuna posta si tirassero 12 colpi a 10′ gli uni dagli altri, e che quella di Montlhéry cominciasse 5′ prima dell'altra; cosicchè un osservatore posto nella metà della linea de' due cannoni, avrebbe inteso da 5′ a 5′ i colpi incrocicchiati, o reciproci che partivano da ambedue. Ma quantunque a Montlhéry non si fossero intesi che 7 de' 12 colpi tirati da Villejuif, si potè nondimeno conoscere da' risultamenti, che il tempo più lungo che impiegava lo scoppio a percorrere la distanza che separava le due stazioni, era di 54″, 9, ed il più corto 53″, 9, e perciò il tempo medio era 54″, 0. Or dividendo la lunghezza compresa fra i due punti per 54″, 6, durata media di propagazione, si avrà 174,9 tese, ovvero metri 340,88, rapportando in tese la lunghezza, eguale a 9549,6, alla temperatura di + 16 centigradi. Il barometro a Villejuif segnava millimetri 756,5, e l'igrometro 78. Riducendo poi col calcolo questa velocità alla temperatura osservata, quale sarebbe a + 10°, ed a zero grado, si ebbe per la prima 337_m, 28, e per l'ultima 331_m, 12, che il suono percorre in un secondo. La velocità così calcolata a zero, è quasi la stessa di quella ottenuta da Goldingam, cioè 331 metri, e l'altra a + 10°, differisce appena da quella ottenuta a + 6° dalla prima commessione nel 1728, cioè 337_m (1).

28. Dopo queste sperienze, altre ne vennero ripetute ad Utrecht da' fisici olandesi de Moll e Van Beek, i quali prescelsero a ciò due colline, cioè quella de'Sette-Arbori (Zevenbombjés) e l'altra detta il Kooltiesberg, le quali erano alla distanza di 17669 metri. Si fece uso di strumenti della più grande esattezza, come orologi a fermata del Pfassius, il cui ago segnava un centesimo di secondo decimale; barometri, termometri, l'igrometro di Daniell, ec. Si adoperarono quattro cannoni, due da 6 e due da 12, e di bandiere mobili per segnare la direzione del vento. I colpi furono anche reciproci, e l'intervallo medio osservato fra il lampo ed il suono, prodotti da 36 colpi ripetuti, diede per la velocità del suono nell'aria secca, ed a zero grado centigrado, calcolata col nuovo coefficiente di dilatazione, 332^m, 25. Fatte dipoi in due notti consecutive altri sperimenti con 35 colpi non reciproci, si ebbe che la velocità media del suono, dedotta da ciascuna delle due notti, differiva di metri 6, 35, laddove la differenza ottenuta da' colpi reciproci era appena di 0^m, 66; il che comprovò

(1) *Resultat des expériences faites par ordre du Bureau des Longitudes pur la determination de la vitesse du son dans l'atmosphère, par M. Arago* (*Connaissance des Temps*, an. 1825, p. 362).

la somma importanza che doveva darsi alla reciprocazione dei colpi (1).

29. Dopo gli sperimenti fatti da'fisici francesi ed olandesi, altri ne vènnero ripetuti a Wolvich nel 1824 da Gregori per valutare l'influenza del vento, ma gli effetti furon poco concordi fra essi, perchè non erasi fatto uso di colpi reciproci, e le distanze erano poco grandi: il perchè ora i fisici si sono avvisati ritenere come più esatti quegli ottenuti da' francesi ed olandesi, i quali differiscono appena sensibilmente fra essi.

Tralasciando di andare più oltre intorno alle ricerche su la velocità del suono, diremo solo, che queste vennero reiterate in più contrade del globo, dentro terra, vicino le sponde del mare e ad altezze differenti: ma nel maggior numero di tali sperienze i risultamenti furon sempre discordanti, e perciò noteremo solo quelle che vennero fatte con maggiore esattezza ec. Nel 1825 il tenente Kendall le fece su le sponde del gran lago dell'Orso, ed ebbe 331^m, 9 a—40° Fahr. Parry reiterandole con colpi non reciproci ad Ingloolik e Winter-Island, in compagnia de' teneuti Ryas e Fischer, in diciotto sperimenti, sette fatti alla distanza fra' 878 a 1629 metri, ed undici altri a quella di 2580 metri, trovò che a — 0, 7 il suono percorreva 326^m per secondo, ed appena 300 a — 40°, 7 Fahr. Lo stesso Parry rifece gli sperimenti nel porto di Bowen, assistito dal tenente Fosster, stando il cannone a terra e gli osservatori su la corvetta ancorata a 3930 metri dall' altra stazione su la riva del mare. Per un tempo tranquillo, e ad una temperatura di—38, 5 Fahr., trovarono essere la velocità di 309^m, 2 per secondo (2).

30. Nelle sperienze fatte da' fisici citati, pare che rimanevano alcuni dubbii su la velocità del suono sopra due stazioni inegualmente elevate sopra il livello del mare, perchè gli sperimenti rapportati eransi fatti quasi allo stesso livello delle due stazioni. Volendo dunque conoscere i rapporti fra il suono *ascendente* e *discendente*, furono fatte sperienze a diverse altezze con tutte le cure e mezzi necessarii a tale uopo da'fisici austriaci Stampfer e Myrbach. Le stazioni furono Moenchstein vicino Salzburgo, e l' Untersberg, la cui differenza di livello era di metri 1364, e la loro distanza obliqua di metri 9940; cosicchè la linea percorsa dal suono, faceva coll' orizzonte un angolo di 70, 53'. Stampfer occupava il luogo superiore di Untersberg, e Myrbac il punto inferiore di Moonchstein. Furon tirati dalla prima venti colpi, e 13 dalla seconda. In tali prove la ve-

(1) Poggendorff' s *Annalen der Phys.* tom. V, 331 e 469, e *Philosophical Transaction*, 1824, pag. 424.

(2) *Journal of a third voyage for the discovery of a north west passage in the years*, 1824, e 1825, *Appendix* pag. 86.

locità media del suono ascendente non differiva da quella del suono discendente che di $0^m,22$, e perciò la somma media delle due velocità nell' aria a zero, era di $332^m,96$ per secondo. In questi sperimenti fu solo trascurata l'osservazione dell' igrometro, ma supposta una umidità media del 75 per 100, ad una temperatura di 9°, 4, il numero ottenuto si avvicina ancora dippiù a quello degli osservatori olandesi.

Altre sperienze furon praticate da Bravais e Martins ad una differenza maggiore di livello, fra la vetta del monte Fahulorn, alta montagna del Cantone di Berna, ed il villaggio di Tracht vicino Brienz, su le sponde del lago dello stesso nome. La differenza di livello era metri 2079, e la distanza media obliqua, metri 9650, e l' inclinazione della linea percorsa dal suono era di — 12°, 26'. Niuna precauzione fu ommessa, e si tenne anche conto dello stato igrometrico dell' aria. Da' quadri formati rilevasi in conchiusione, in quello che contiene le durate medie della propagazione del suono, che paragonatone il camino ascendente col discendente, le velocità sono sensibilmente eguali fra esse, e perciò il risultamento finale di queste lunghe osservazioni venne determinato così: Velocità eguali dei suoni ascendente e discendente, alla ragione di $332^m,4$, nell' aria secca alla temperatura del ghiaccio fondente (1).

31. La conoscenza della velocità del suono può dare di notte, in un modo abbastanza prossimo all' esattezza, la distanza a cui trovasi una flotta, una città assediata, un castello ec. In questi casi basta notare l' istante in cui vedesi la luce nello sparo del cannone, ed il numero di secondi decorsi sino al momento dell' arrivo del suono all' orecchio, perchè moltiplicando per $340_m,88$, a + 16°, o 337^m, a + 6°, il numero de' secondi decorsi, si avrà la distanza cercata.

Velocità del suono negli altri gas.

32. Gli sperimenti su la velocità del suono furon fatti per l' aria atmosferica, e quantunque si sapesse che gli altri gas ed i vapori trasmettono anch' essi il suono, nondimeno la velocità onde questo vi si propaga, riusciva più difficile provarlo che nell' aria. Ma Dulong, conoscendo che la velocità nella pro-

(1) *Versuche von Stampfer und Pyrbach*, Pongendorff's *Annalen der Physik*, tom. V. pag. 496; *Ann. de Chim. et de Phys.*. Janvier, 1845.

Si sono ammesse quelle eseguite in Francia da Cassini, Marsenna ed Huyghens; in Inghilterra da Walker, nel 1698, e da Hamsteadt, Halley e Derham nel 1704; in Italia dagli Accademici del Cimento nel 1778, e da Blanconi nel 1740; in America da la Condamine nel 1740, e da Espinosa do Banza nel 1774; in Alemagna, da Meyer nel 1778, Muller nel 1791, e Bensenberg nel 1809: ciò perchè presentano differenze tanto grandi da non dare alcun risultamento di final conchiusione fra loro.

pagazione attraverso gli altri fluidi aeriformi dev' essere come nell' aria, proporzionata cioè alla radice quadrata del rapporto della pressione alla densità, e che la densità essendo per tutt' i gas in ragione inversa della temperatura, quando la temperatura è costante, partendo da quella del ghiaccio fondente, pervenne a' seguenti risultamenti :

Velocità nell' aria atmosferica . . . . , metri 333 per secondo

Ossigeno.	317,17
Idrogeno	1269,5
Acido carbonico	261,6
Ossido di carbonio	337,4
Ossido di azoto.	261,9
Gas olio facente	314. (1)

Velocità del suono ne' liquidi e ne' solidi.

33. La velocità del suono ne' liquidi fu dapprima determinata con la formola di de Laplace (2), ed ecco i resultamenti così cavati dal calcolo.

Nomi de' liquidi	Densità	Compressibilità sotto un' atmosfera, valutata in millinesimi del volume primitivo.	Velocità del suono in 1'' espressa in metri.
Etere solforico	0,712	131,35	1039
Alcool	0,795	94,95	1157
Etere cloridrico.	0,874	84,25	1171
Essenza di terebinto	0,870	71,35	1276
Acqua.	11,000	47,85	1433
Mercurio	13,544	3,38	1484
Acido nitrico	1,403	30,55	1535
Acqua saturata d'ammoniaca	0,9.	33,05	1842

Le sperienze dirette per determinare la velocità del suono nei liquidi, furono fatte su l'acqua nel lago di Ginevra da Collandon e Strum, i quali ebbero in conchiusione 1435 metri per secondo, numero che differisce poco da 1453 che dava la teorica. Ma poichè i risultamenti avuti da Kanton, Perksin, OErsted, e gli stessi Collandon e Strum, su la compressibilità dei liquidi, già esposti nel 1.° vol. di quest' opera al § 183 non si

(1) Dulong, *Ann. de Chim, et de Phys.* t. 41, p. 113.
(2) La formola di de Laplace è

$$v = \sqrt{\frac{g}{\lambda}}.$$

v, è la velocità del suono nel liquido espressa in metri;
g, la gravità espressa ancho in metri, = 9m, 8088;
λ il raccorciamento che prova una colonna orizzontale di liquido di 1 metro di lunghezza, quando è compressa in un cannello privo di elasticità da un peso eguale al suo. *Ann. de Phys. et de Chimie*, tom. 3, pag. 164 e 238.

accordano fra essi, ne risulta una incertezza nelle deduzioni cavate dalla teorica. Così prendendo ad esempio l'alcool, dietro la sua compressibilità trovata da OErsted, la velocità del suono in questo liquido sarebbe di 2423 metri, in luogo di 1157 che dà la compressibilità sperimentatavi da Collandon e Strum.

34: Ed in ultimo, quanto alla velocità del suono attraverso i solidi, la formola data da De Laplace pe' liquidi, applicasi similmente a'corpi solidi. Resta solo nella teorica qualche incertezza sul modo di estimare il valore dell'allungamento che prova una verga di 1 metro di lunghezza, tirata da un peso uguale al suo. Ma più considerazioni fan presumere, che questo valore deve tanto ne' liquidi che ne' solidi rappresentare il cambiamento di volume che la verga prova allorchè vien sollecitata da forze eguali sopra tutt' i punti della sua superficie. In questa ipotesi, il valore suddetto sarebbe $\frac{3}{2}$ dell' allungamento che la verga sperimenta quando venisse semplicemente tirata per le sue due estremità. Le sperienze di Collandon e Strum han dato, che quando una verga di vetro si allungasse di 11 diecimilionesimi per un traimento equivalente ad 1 atmosfera, bisognerebbe prendere $\frac{33}{2}$ =16, 5 diecimilionesimi per il cambiamento di volume sottoposto a questo traimento in tutt'i suoi punti. E riducendo dopo questo cangiamento di volume a quello che avverrebbe per un traimento equivalente al peso di una verga di vetro di un metro lunga, si avrebbe 4059 metri per la velocità del suono attraverso il vetro.

Partendo Savart dalla formola data da Laplace, e dal processo di Chladni, pervenne a valutare con molta precisione la velocità del suono ne' corpi solidi da lui adoperati negli sperimenti. Così da' risultamenti ha dedotto, che per trovare la velocità del suono in un corpo solido qualunque, basta ascoltare il suono fondamentale che produce una verga di questa sostanza che vibra longitudinalmente, e di paragonarlo al suono fondamentale che dà un condotto aperto che ha la stessa lunghezza della verga. Il rapporto de' due suoni moltiplicato per la velocità del suono nell'aria, dà per prodotto la velocità di quello del corpo solido posto allo sperimento. Dopo questi dati, i numeri ottenuti da Savart, sono venuti in conferma di quelli cavati da Chladni su le vibrazioni longitudinali delle verghe. Egli ha solo aggiunto le piccole differenze che derivano dallo stato molecolare delle verghe sottoposte allo sperimento. Così il rame varia da 11, 13 a 12, 21; l'ottone da 10, 40, a 10, 70; il ferro ed i differenti acciari danno 15, il vetro di specchi 16, le canne di vetro 11, 86; il pino del Nord 16, 39; quello de' Vosges 16, 54 ec. (1).

(1) *Ann. de Phys. et de Chim.* t. 65.

Durata, gravità, acutezza, intensità, e qualità o metallo del suono.

35. Allorchè un corpo sonoro posto in vibrazione produce un suono qualunque, esso fa avvertire al nostro organo sensitivo la sua *durata,* la *gravità* ed *acutezza, l'intensità*, e la *qualità* o natura del corpo sonoro, detta ancora *metallo del suono*, *metallo della voce* o *timbre* de' Francesi.

Durata. Essa dipende da quella della vibrazione totale del corpo sonoro , ed amendue sono eguali fra esse, dapoichè tanto la prima che l'ultima onda sonora , durano lo stesso tempo per giugnere all' organo dell' udito , essendo la lunghezza totale delle onde sonore eguale allo spazio percorso dal suono nella durata totale del movimento vibratorio che lo genera.

36. ***Gravità*** ed ***Acutezza.*** Dipendono unicamente dalla celerità delle vibrazioni , perchè la differenza che ci ha fra suoni gravi ed acuti è si rilevante, da dover certamente corrispondere a qualche modificazione fisica indotta nelle molecole dell'aria che porta il suono al nostro organo sensitivo. Così le onde che producono il suono più grave di un organo, hanno una lunghezza di 32 piedi, ed il suono musicale più acuto ne conta solo 18 linee incirca. E di fatti quando si tocca una corda metallica tesa, ovvero quando si fa vibrare con un'archetto da violino , si osserva che il suono diviene più acuto a misura che si accorcia la lunghezza della corda , perchè nello stesso tempo le vibrazioni divengono più rapide. Ciò succede appunto su le chitarre, sul violino ec.,quando si fa correr la mano su la tastiera in basso, col cui mezzo le corde si fanno di più in più corte, ed il suono di più in più acuto.

Due onde della stessa lunghezza vibrano all'*unisono* perfetto, qualunque si fosse la intensità ed il metallo del suono del corpo sonoro. Il rapporto di gravità e di acutezza di due suoni è ciò che dicesi *tuono.*

37. ***Intensità.*** È indipendente dalla lunghezza delle onde, perchè deriva dall'ampiezza delle vibrazioni, cioè dalle condensazioni e dilatazioni successive, e dallo scuotimento più o meno grande che l' aria ha ricevuto dal corpo sonoro , e che si trasmettono da strato a strato sino all' udito. Così spiegasi perchè una corda di basso può essere all' unisono con uno strumento da fiato quando le onde sono portate alla stessa lunghezza.

La intensità del suono resta costante quando le onde sonore si propagano in uno spazio cilindrico , perchè in uno spazio libero essa diminuisce rapidamente a misura che le onde si allontanano dal centro di scuotimento , ed in ragione inversa del quadrato della distanza , come avviene per le onde luminose le quali seguono la stessa legge. Così noi stimiamo questa intensità

calcolandola sempre dopo l'azione che le molecole fluide percosse esercitano sopra gli organi dell' udito, la quale dev' essere per conseguenza, in ragione diretta del quadrato della velocità; e non dopo la loro inerzia, che è in ragione della semplice velocità; perchè in quest'ultimo caso non si avrebbe alcun suono, dovendo l'inerzia delle ondulazioni aeree che si fanno indietro, distruggere l'inerzia eguale ed opposta di quelle che si fanno in avanti. Il perchè si conchiude, che la intensità del suono deve diminuire in ragione inversa del quadrato della distanza del corpo sonoro.

La diminuzione della intensità del suono è una conseguenza del moto di propagazione, perchè quando si percuote un punto qualunque dell' atmosfera, il suono si propaga, come si è detto, in tutt' i sensi; le onde sonore circondano il punto percosso, e si terminano da superficie parallele concentriche; il perchè la massa dell'onda sonora cresce con grande rapidità come si allontana dal centro di scuotimento, e perciò si veggono scemare d'intensità le vibrazioni nello stesso tempo.

Ammettiamo ora esser la distanza assai grande. Il calcolo ci fa conoscere, che le velocità delle molecole di aria che sono su lo stesso raggio sonoro, cioè su la stessa retta condotta dal centro dello scuotimento, sono nella ragione inversa delle distanze al centro del movimento. Laonde paragonando il suono all' urto di un fluido elastico contro un ostacolo fisso, che qui è l'organo dell' udito, e supposto quest'urto proporzionale al quadrato della velocità del fluido, l'intensità del suono deve, sopra uno stesso raggio sonoro, decrescere proporzionalmente al quadrato della distanza. Così ove le onde si propaghino in una massa di aria cilindrica, come è il caso delle osservazioni fatte da Biot, sopracitate, §. 12, seguendo esso la direzione del suo asse, la intensità del suono deve restar sempre la stessa in ogni distanza dalla sua origine; perchè propagandosi il suono da uno strato all' altro sopra masse eguali, le onde aeree avranno dappertutto la medesima lunghezza. Ma poichè alla stessa distanza dell'origine del movimento, questa intensità non è sempre la stessa in ogni direzione, perchè varia sopra i differenti punti della superficie dell' onda sonora, tali differenze debbono dipendere dal modo con cui si è comunicato lo scuotimento al corpo sonoro. La direzione dunque delle velocità delle molecole di aria vibrate fa conoscerci la direzione del suono, e la loro grandezza ne determina la sua intensità.

38. Esaminiamo ora come la intensità e la velocità variano per cangiamento di temperatura, che è il caso più generale. Il calcolo ci dimostra, che ove la temperatura dell' aria fosse costante, la intensità del suono dipenderebbe solo dalla distanza percorsa e dalla densità dello strato di aria da cui prende la sua origine; intensità, che rimarrebbe la stessa, se l'atmosfera fos-

se omogenea dovunque e di una densità eguale a quella di questo strato.

Così il suono si sente egualmente sopra la superficie della terra, che nella stessa superficie, ed alla stessa distanza dal corpo sonoro; ma se il suono venisse dall'alto dell'atmosfera, esso allora sarebbe così poco inteso alla superficie della terra, come in questo strato, anche a distanze eguali. In questo caso le variazioni di temperatura non alterano punto sensibilmente cotal risultamento; dappoichè la formola che rappresenta la velocità del suono prova, che questa velocità essendo proporzionale alla radice quadrata del rapporto dell' elasticità dell'aria alla sua densità, se la temperatura di tutti gli strati dell'atmosfera fosse la stessa, la velocità del suono sarebbe anche la stessa in tutt' i sensi; essendo, dopo la legge di Mariotte, la densità proporzionale all' elasticità; ma siccome gli strati dell' atmosfera sono tanto più freddi quanto più sono elevati, perchè la temperatura decresce con l'altezza, allora deve la velocità del suono farsi accelerata da alto in basso, e ritardata da basso in alto, e le onde ascendenti essere sferoidi depresse, e le discendenti dovranno aver figura sferoidale allungata nell'asse verticale, e perciò esse tanto nell' uno che nell' altro caso non assumeranno la forma sferica ordinaria.

39. ***Qualità*, o *metallo del suono*.** Anche della voce si dice *metallo di voce*, ed è ciò che i francesi dicono *timbre*. Il che è una qualità derivante dalla natura del corpo sonoro e da quelle de' corpi circostanti posti da esso in vibrazione. La qual qualità ci svela come gli stessi suoni, sotto il rapporto della loro intensità ed acutezza, renduti da strumenti o da corpi sonori diversi, differiscono gli uni dagli altri, e ci risvegliano l'idea dello strumento o del corpo sonoro che lo ha prodotto. Così noi distinguiamo benissimo il suono di una campana da quello del violoncello, della trombetta ec., quantunque si fossero identici nella intensità ed acutezza (1). I medici, in qualche caso si servono della percussione per giudicare col mezzo di un cornetto acustico lo stato delle cavità pettorali o addominali, dalla qualità del suono che producono.

L' organo dell' udito acquista per abitudine una tale sensibilità, che distingue facilmente la più piccola differenza fra l'acutezza di due suoni successivi o simultanei, per compararr-

(1) I fisici pare che non si conformino in quanto alla spiegazione da darsi su le differenze di metallo del suono. Alcuni opinano poter esse dipendere dalla natura del suono secondario che accompagna sempre il suono. Pouillet crede probabile esser l' ordine secondo il quale si succedono le velocità ed i mutamenti di densità ne'differenti strati di aria, che sono compresi fra le due estremità dell'onda sonora; o che dipende ancora da che le porzioni condensate e rarefatte dell' onda, possono in molti casi essere dissimmetriche fra esse.

ne i loro gradi relativi. Si domanda perciò una disposizione particolare di quest' organo, purchè i suoni successivi che formano un canto, procedano secondo un certo ordine di acutezza, e si finiscano da un suono che ha col primo un dato rapporto ; come ancora, che i suoni che coesistono abbiano essi stessi de' rapporti determinati di acutezza. Il perchè quando queste condizioni non sono raggiunte, si ha una sensazione penosa, onde comunemente dicesi che l' *orecchio è lacerato*. I suoni coesistenti che dilettano il nostro udito si dicono *accordo*, e quelli che inducono una sensazione dispiacevole, portano il nome di *discordanza*.

40. ***Lunghezza dell'onda sonora.*** Per determinare la lunghezza assoluta delle onde sonore in un mezzo qualunque, sapendosi che la velocità del suono nell' aria è di 340 metri per secondo, un suono che risulterebbe da un egual numero di vibrazioni prodotte anche in un secondo, darebbe ondulazioni di 1 metro di lunghezza, perchè ciascuna vibrazione eccita un onda, e le 340 onde eccitate in un secondo occupano precisamente la lunghezza di 340 metri. La lunghezza dunque dell' onda è, in generale, il quoziente del suono per il numero delle vibrazioni che lo genera. Dopo questi dati, ritenendo la velocità calcolata a + 6°, eguale a 337, 44, essendosi l'altra 340^m dedotta a + 16°, si è potuto fare questo specchietto:

	Numero delle vibrazioni per secondo. Cominciamento del suono valutabile (1).	Lunghezza delle onde sonore.
	32	32 piedi
	64	16
	128	8
	256	4
	512	2
	1024	1
	2048	6 pollici
	4096	3
Fine del suono valutabile......	8192	1, 1/2

Dopo l' esposto caviamo dall' esperienza, che il suono più grave che può avvertirsi dal nostro organo uditivo, è quello che dà una corda vibrata che fa 32 oscillazioni per secondo, e che dicesi *prima ottava*. Ciascuna delle ottave susseguenti di questo suono corrisponde ad un numero di vibrazioni doppio di quello che precede, e perciò la seconda ottava risulta da 32 + 32 = 64 ; la terza da 64 + 64 = 128 e così di seguito.

(1) Come diremo più innanzi, col mezzo della Sirena questi limiti sono per il primo 16 vibrazioni per secondo e per l'ultimo 48000, le quali dopo, col mezzo della ruota dentata si sono spinte sino a 73000.

La nona ottava poi è considerata come il suono più acuto che possa distintamente avvertirsi dall' orecchio.

Riflessione del suono — Eco — Risonanza.

41. Quando una massa di aria per la quale il suono si propaga è indefinita, le ondulazioni sonore si diffondono indefinitamente; ma ove un ostacolo può arrestare il cammino delle onde sonore, queste vi si riflettono alla superficie, e tornano indietro presso a poco come succede nelle onde circolari de' liquidi quando s'imbattono nell' ostacolo della parete che li racchiude. Inoltre la riflessione del suono ha molto di comune con quella della luce sopra uno specchio piano, cioè che il suono riflesso è lo stesso, per la direzione e l'intensità, che se lo scuotimento primitivo succedesse dietro il piano ad una distanza eguale a quella del vero scuotimento primitivo innanzi al piano. Ma quantevolte la superficie riflettente avesse un' altra forma qualunque che potesse determinar la figura e la velocità dell' onda riflessa, fa duopo allora considerar l' effetto sopra l' intera onda, e questo problema non può risolversi che in qualche caso particolare, come ha fatto abilmente Poisson.

Risulta dopo le ricerche matematiche fatte intorno alla riflessione del suono sopra un piano indefinito.

1.° Che ciascun raggio dell' onda sonora è riflesso come l'onda luminosa, facendo cioè l'angolo di riflessione eguale all' angolo d' incidenza;

2.° Che la velocità del suono riflesso è la stessa di quella del suono diretto;

3.° Che l' intensità del suono all' estremità del raggio rotto è la stessa di quella che avrebbe luogo nell' estremità di un raggio retto, eguale in lunghezza al raggio rotto, se questo raggio sonoro invece di riflettersi si fosse propagato al di là di un piano fisso.

Da quanto precede è facile vedere, che se la massa di aria trovasi compressa fra due piani indefiniti paralleli, il suono riflesso alla superficie di uno de' piani si porterà su l' altro dove sarà riflesso sul primo, e così di seguito; cosicchè succederanno un numero infinito di riflessioni. Che se poi i piani non fossero paralleli, si avrebbe un numero di riflessioni più o meno grandi secondo l'angolo che questi piani farebbero fra essi. Ciò premesso, è facile determinare le circostanze della riflessione del suono per mezzo di superficie ellissoidi o paraboloidi. Daremo un sunto de' risultamenti cavati dalle ricerche matematiche fatte da Poisson, inserite nel *Journal de l'Ecole Polytechnique*, tom. VII, pag. 319 a 392.

42. Quando il suono parte da uno de' fochi d'un' ellissoide di

rivoluzione, e che è riflesso nella sua superficie, il suono riflesso forma onde sonore, il cui centro è l'altro foco dell'elissoide, che si avvicinano sempre da quest'altro foco. I raggi allora dell'onda sonora diretta, e quelli dell'onda riflessa che s'incontrano in uno stesso punto della superficie riflettente, faranno su lo stesso piano angoli eguali con la normale innalzata in questo punto, e perciò deve essere l'angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione. Il calcolo dimostra inoltre, che sopra uno stesso raggio riflesso, l'intensità cresce a misura che si avvicina al secondo foco dell'ellissoide, e perciò pe' punti che sono a questo prossimi, il suono riflesso è assai più intenso che il suono diretto, e la velocità del suono riflesso è la stessa che quella del suono diretto.

Se il suono parte dal foco di una paraboloide di rivoluzione, esso è riflesso parallelamente al suo asse, il perchè le onde riflesse sono piane e perpendicolari al piano. Ed in ultimo ove il suono fosse prodotto dal foco di una iperboloide di rivoluzione, la riflessione su la superficie concava ovvero convessa darebbe onde sferiche che avrebbero per centro l'altro foco. L'esperienza ha confermati i risultamenti del calcolo, ma non si è potuto applicar questo a sciogliere il problema della riflessione del suono sopra una superficie qualunque, e solo si sa che i raggi sonori si riflettono costantemente sotto un angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione, come altresì che la riflessione del suono segue sotto questo rispetto la riflessione della luce nel sistema delle ondulazioni.

43. *Eco.*—L'eco è prodotto dalla riflessione del suono contro un ostacolo, come una montagna, un edifizio, ec. che sia più atto a produrlo. Perchè ciò succeda, non potendosi distinguere i suoni se non quando passa 0,1 di secondo dall'uno all'altro, perchè vi abbia un eco è duopo che il suono riflesso non arrivi prima di 0,1 di secondo all'orecchio; cioè che la distanza dell'andata e ritorno del suono deve essere almeno di 33^m, 9, lo che pone la superficie riflettente alla metà di questa distanza, vale a dire presso a poco a 16^m, 9. dal luogo ove è prodotto il suono. Che se poi l'osservatore si trovasse più dappresso, i suoni diretti ed i suoni riflessi si vedrebbero confondere, e si avrebbe invece una *risonanza.*

Ammettiamo ora che il suono riflesso torni una sola volta all'orecchio dell'osservatore, cioè dopo una sola riflessione, allora si avrà un solo eco, o una sola ripetizione del suono primitivo; ma laddove più onde sonore provano più riflessioni, dovranno risultarne altrettanti echi. E supposto l'ostacolo assai lontano, il suono riflesso arriverà all'orecchio dopo il suono primitivo, e secondo l'intervallo che separa questi due effetti; ma ove l'ostacolo fosse assai vicino, i suoni ri-

flessi si vedrebbero confondere in parte col suono diretto, prolungandosi nello stesso tempo, come succede in una casa vòto di arredi.

44. *Eco Monosillabo* e *Polisillabo.* — È noto che comunque voglia parlarsi celeremente, non è possibile pronunziare in qualche modo distinto più di dieci sillabe in 1 secondo, cioè che da una sillaba all'altra vi passi 0,1 di secondo. L'eco dunque deve nelle circostanze essere monosillabo o polisillabo, secondo che la distanza si fa più in più maggiore. Così ove l'osservatore si trovasse distante dalla superficie riflettente solo 16, 9 metri, non potrebbe aver tornata all'orecchio che l'ultima sillaba della parola che avrà articolata. Ed ove la superficie riflettente fosse 2, 3, 4 volte distante, avrebbe ripetute 2, 3, 4 sillabe distintamente, perchè in generale si avranno tante sillabe ripetute per quante volte la distanza fra la superficie riflettente ed il punto in cui è prodotto il suono conterrà 16^{m}, 9. Or sapendosi dalla velocità del suono, che questo percorre 340 metri per secondo, nel caso dell'eco, deve ritenersi che il suono non può tornare all'orecchio dell'osservatore che fosse ad una distanza due volte 340 metri, cioè 680^{m}. L'eco così rinvierà nel loro ordine successivamente 8 a 10 sillabe, e la prima dovendo impiegare un secondo per andare ed un'altro per tornare, non arriverà all'orecchio dell'osservatore che dopo 2 secondi, cioè all'istante in cui l'ultima sarà stata articolata. Per osservar quest'andamento dell'eco, non occorre che la superficie riflettente sia abbastanza solida e pulita, perchè anche su le vele ben tese che sono in mare in una convenevole distanza e posizione, l'eco succede. Le stesse nubi sovente riflettono in mare echi abbastanza distinti.

L'eco si fa sempre più sensibile in un'atmosfera senza nubi ed egualmente riscaldata, che quando lo fosse differentemente. Nel primo caso, il moto irregolare del corso delle nubi, e nel secondo le varie correnti ascendenti e discendenti dell'aria ove più ove meno riscaldata, impedirebbero la riflessione totale dell'onda sonora, ed in conseguenza passando questa da una corrente all'altra, si vedrebbe diminuire nella sua intensità primitiva, e con essa scemare anche il suono prodotto.

45. Per dare una ragione degli echi multipli o polisillabi, fa duopo ricordare, oltre il premesso, che ogni volta che le onde sonore passano da un mezzo all'altro, esse provano sempre una riflessione parziale, ma ove s'imbattono in un ostacolo, la loro riflessione diviene totale. Ammessa poi questa riflessione parziale ovvero totale, essa compiesi sempre in una direzione tale, che l'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza. Alla meccanica spetta svolgerne i particolari, e però dire-

mo solo, che negli echi multipli, dovendo il suono riflettersi di nuovo, a seconda della disposizione e figura degli ostacoli, perchè essi abbiano luogo, occorre che due superficie riflettenti siano disposte in modo da potersi rimandare il suono; e ciò succede, come avviene in due specchi opposti che si rimandano la luce; lo che spiega perchè gli echi multipli sono frequenti fra due torri che sono su la stessa linea, o fra due muri paralleli e lontani.

Citeremo alcuni echi multipli più notevoli. L'eco del *parco* di Woodstok in Inghilterra, ripete sino a 17 sillabe il giorno, e 20 la notte. Questa differenza può dipendere dalle differenze di elasticità dell'aria cagionate dalla temperatura, la quale è minore nella notte che nel giorno. L'eco del castello di Simonetta in Italia ripete il suono sino a 40 volte. Esso è prodotto da due muri paralleli, in uno de' quali vi è una finestra da dove l'osservatore per mezzo dello sparo di una pistola sente l'eco.

Si rapporta un eco simile di Verdun, il quale è prodotto da due torri lontane fra esse 50 metri. Situandosi in una di queste torri e parlando interrottamente a voce alta, la voce viene ripetuta distintamente sino o dodici volte. Vicino Rouen ci ha un eco a Génétay che ripete più volte la voce in diverse maniere. Si citano ancora degli echi che ripetono la voce con fracasso, altri con accento flebile ec. In generale gli echi sono comuni nelle cisterne, ne' boschi, nelle vallate, ne' paesi posti in mezzo alle montagne, e sono di conoscenza volgare.

46. L'eco udito da Biot nell'acquidotto di Parigi, lungo 951 metro, e che si ripeteva sino a sei volte, offre qualche difficoltà di spiegazione. Postosi egli in una estremità del condotto, osservò che gl' intervalli di questi echi erano eguali fra essi, e fra l'uno all'altro vi passava presso a poco mezzo secondo, ma l'ultimo non arrivava all'orecchio prima di 3 secondi, che era il tempo necessario a percorrere la lunghezza totale dell'acquidotto. Echi di simil fatta sono anche frequenti nelle lunghe gallerie delle miniere, ma per questi ultimi potrebbe dirsi che essi dipendono dalla tortuosità de' corridoi, lo che non permette che le pareti fossero parallele fra esse.

L'eco dunque deriva in generale dal suono riflesso in qualche cavità, o superficie concava che rimanda la voce senza troppo indebolirla. Altre volte esso è prodotto da lunghi corridoi a volta, i quali permettono alle onde sonore farne il giro senza che diminuiscono molto di forza quando giungono all'orecchio dell'osservatore. Uno di questi esempl lo presenta l'eco del lungo corridojo che sta sotto la chiesa di s. Genevieffe, ora detta il Panteon, a Parigi. In questo corridojo, che ho visitato più volte, e che è circolare ed a volta, unito tutto da

un lato, quando si pronunzia qualche parola a voce alta da un punto, o che vi si percuota fortemente un muro, l'eco si fa sentir forte dapprima, e poi scemando a poco a poco fa avvertire una successione di ripetizioni del suono primitivo, le quali non sono ad intervalli tali da produrre echi ripetuti e distinti. Ma è probabile che quest' indebolimento sarebbe assai minore, se l' eco si ripetesse più volte, ove il corridojo fosse esattamente chiuso.

47. *Risonanza.* — Le risonanze sono frequenti ne' luoghi chiusi, poco spaziosi, ed ingombri di oggetti e di persone. Esse divengono allora incommode per coloro che ascoltano un oratore, al quale posson d'altronde, in alcune circostanze, esser favorevoli, perchè meglio sostengono la sua voce dandole ancor maggiore chiarezza. Così in una sala risonante si fatica meno a parlare che nell' aria libera, o in una sala ove la voce viene indebolita per l' ingombro di mobili, d'intarsiature di legno, di quadri, di tappezzerie ec. I quali inconvenienti meglio si avvertono ne' luoghi ove si concerta la musica, e soprattutto ne' teatri.

Le risonanze non sempre derivano dall' effetto della riflessione del suono, ma sovente son dovute alle vibrazioni da questo suscitate su le pareti a cui s' imbatte l' onda sonora. Così quando si parla in un cappello, applicando la mano sotto il suo fondo, le vibrazioni indottevi saranno sensibili ec.

Perchè dunque l'intensità de'suoni renduti da un corpo sonoro qualunque posto in vibrazione fosse meglio sostenuta, avviene, ed anzi è anche aumentata, 1. dalle vibrazioni de' corpi su i quali s' imbatte l' onda sonora; 2. dalle vibrazioni su i corpi lontani che possono dare uno de' suoi suoni armonici, vibrazioni che vengono eccitate dagli urti reiterati delle onde sonore che li percuotono; 3. dagli echi vicini imperfetti, i quali non lasciano fra l' andata e ritorno delle onde sonore che un intervallo più piccolo di quello dell' emissione del suono. Queste condizioni, tutte riunite, costituiscono la *risonanza* dei corpi.

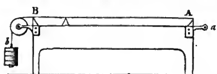
48. Or per dare più opportuna disposizione alle sale teatrali ed a quelle in cui vuol meglio ascoltarsi la voce di un oratore, fa duopo, per le prime, provocare le risonanze, rendendo le parti riflettenti le più sonore possibile, il che si raggiunge con isolarle per quanto si può dalla massa dell' edificio, situando l'orchestra sopra una cassa sonora, che d'ordinario si fa di legno, bene unito, alquanto rialzata dal suolo, e procurando che le pareti sieno esse stesse sonore e prive di cavità, perchè in contrario le onde sonore non potrebbero più distribuirsi al resto degli uditori: ma soprattutto bisogna evitar l' accumolamento di stoffe, le quali avendo una elasticità ap-

pena valutabile, annienterebbero le onde sonore che vi cadessero sopra (1).

Ma fra le tante disposizioni, quanto alla forma da darsi ad una sala da teatro, la ellittica è la più riprovevole, perchè l'ellissi ha la proprietà, come si è detto più innanzi al § 42., di riflettere al secondo foco tutt'i raggi che sono inviati dal primo, per il che un oratore che fosse posto ad uno di questi fochi, sarebbe inteso dalla persona che stesse nell'altro, e non da coloro che gli si trovassero d'intorno dappertutto, o al più assai debolmente. E perciò osservasi, che due persone poste nè due fochi di un ellissi, possono mantenere lungo discorso reciproco senza che vengano intesi da coloro che le circondano. Dopo queste considerazioni, la forma parabolica sembra meglio convenire. Chladni propose la forma di una piramide, situando l'orchestra nella parte superiore, per aversi il suono riflesso in tutt'i lati assai distintamente. Egli cita in appoggio una simile costruzione di chiesa, in cui era l'orchestra nascosta, e posta in modo da non pervenire il suono agli uditori che dopo essersi riflesso dalla volta.

Leggi generali delle vibrazioni delle corde. —Sonometro o monocordo.

49. Volendo determinare i rapporti delle oscillazioni o vibrazioni delle corde, l'apparecchio più semplice è quello che dicesi *sonometro* o *monocordo*. AB è una corda di budello ovvero di metallo, fissata nel punto a, la quale passa sopra due sostegni e per una rotella affin di esser distesa dal peso b, il quale è attaccato all'altro capo della corda. Lo stesso strumento può farsi anche a modo di chitarra, fissandovi una sola corda per distenderla o rallentarla secondo il bisogno, ma si preferisce il primo per averne l'effetto con più regolarità col mezzo dei pesi che si aggiungono e si tolgono secondo il bisogno.



Così disposto lo strumento si vedrà, che facendo deviar la corda dalla sua posizione naturale, essa tenderà a ritornarvi do-

(1) Si rapporta da Vitruvio, che gli antichi a fin di rendere più sonori i loro immensi anfiteatri, i quali erano, come è noto, senza tettoja, situavano in appositi siti, che egli insegna, de' vasi di bronzo vòti per aumentare la intensità della voce degli attori. Ma i fisici trovano assurdo tal mezzo, perchè non si saprebbe assegnare alcuna ragione sul come que' vasi potevano produrre l'effetto pel quale erano adoperati.

po un seguito non interrotto di oscillazioni, come succede nel pendolo, e queste dopo quanto il calcolo dimostra, saranno tanto più rapide quanto più la corda si fa corta e più ne cresce la tensione, ed al contrario. Ma comunque la corda si facesse lunga e poco tesa, se riuscirebbe facile contar le oscillazioni, non si avrebbe alcun suono, dovendo queste giugnere almeno a 32 per secondo perchè il suono fosse percettibile all' udito. Lo stesso avverrebbe ove si variasse la lunghezza e tensione della corda per aver suoni dal più grave sino al più acuto, perchè comunque le vibrazioni fossero visibili, ed i suoni percettibili, non si perverrebbe mai a contarne il numero. Ma se riesce difficile raggiugner quest' ultimo scopo, può nondimeno con tal mezzo convincersi, che il suono si fa dippiù in più acuto a misura che la corda più si accorcia col porre un ostacolo nella sua lunghezza, o che più si tende col crescerne il peso, ed al contrario diviene il suono più grave con l' allungare o diminuir la tensione della corda scemandone il peso. Da queste prime osservazioni poterono i fisici dedurne, che doveva esservi una certa dipendenza fra il suono della corda, la sua lunghezza, la sua tensione e la rapidità delle oscillazioni. Or comunque ciò riesca facile comprovare con l' esperienza, non pertanto i particolari che l'accompagnano non possono svolgersi e determinarsi, quantunque sino ad un certo limite, se non col mezzo del calcolo. Queste ricerche, che dettero poi luogo a ciò che dicesi in meccanica *problema delle corde vibranti*, furon dapprima intentate da Taylor, e poi recate a maggiore perfezionamento da Lagrangia nel 1759 (1).

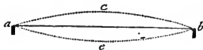
Vibrazioni traversali e longitudinali delle corde.

50. Nelle vibrazioni delle corde occorre notare quelle che sono *traversali* e *longitudinali*. Le prime si osservano facilmente quando si pizzica una corda che trovasi nello stato di riposo, e le seconde, ove questa si confrichi nel senso della sua lunghezza sia con una falda di panno, che con le dita spalmate di polvere di resina.

Vibrazioni traversali.—Sono queste sensibili quando si pizzica una corda in tutta la sua lunghezza libera, compresa fra i

(1) Tutt' i superiori teoremi sopra questo soggetto furono rigorosamente dimostrati da Taylor, e rapportati nel suo *Methodus incrementorum directa, et inversa.* Essi eccitarono durante circa mezzo secolo le più vive dispulazioni fra i più grandi geometri di que' tempi, fra i quali presero parte Giovanni Bernouilli (*Comm. Ac. Petrop. T 3.*), d' Alembert, Eulero (*Memoria dell' Accademia di Berlino*) e da Daniele Bernouilli; ma pare che Lagrangia, quasi nel cominciamento della sua carriera, avesse il vanto di togliere tutte le difficoltà sino allora suscitate e combattute, e metter fine a sì lunga ed ostinata disputazione.

due punti fissi che la tendono, che si dicono *nodi*, come veggonsi segnati in *ab*. Il mezzo di questa distanza *c e* dicesi *ventre*, e la distanza *c* ovvero *e*, in cui la corda ha attinto il massimo di allontanamento, ne dinota l' *ampiezza*; la curva poi che la corda vibrante forma in un istante, dicesi *fuso* o *cicloide*.



Nelle vibrazioni longitudinali l'ampiezza delle oscillazioni scema a poco a poco sino a che si estingue del tutto, e ciò deriva dagli ostacoli che ne fissano i nodi, dalla resistenza dell' aria, e dalla imperfetta elasticità della corda.

L' intensità del suono dipende dalla velocità di ciascuna vibrazione, cioè dallo spazio che la corda percorre in una vibrazione; e la sua gravità ed acutezza derivano dal numero di vibrazioni che si fa in un tempo dato, indipendentemente dalla loro velocità.

Le vibrazioni longitudinali nelle corde sono *contrazioni* e *dilatazioni* in tutta la loro lunghezza, o nelle sue parti aliquote che si appoggiano all' uno o all' altro punto o nodo di vibrazione; dappoichè quando una corda vibra, si vede allungare ed accorciare nel senso opposto alternativamente. I suoni prodotti da queste vibrazioni hanno fra essi gli stessi rapporti che quelli delle vibrazioni traversali. Per osservar queste vibrazioni, si confrica la corda nel senso della sua lunghezza, sia con un panno, sia con le dita coverte di polvere di resina. Le molecole allontanate così dalla posizion naturale, si mettono in vibrazione, e danno oscillazioni anche isocrone come quelle traversali.

Consideriamo ora i due punti fissi, o nodi di vibrazione $a' a''$, e situiamo in mezzo ad essi la molecola a posta in vibrazione (a' a a''), che supponghiamo essere una lamina sottilissima; allora quando la molecola a deve portarsi in a', dovrà respingere a se dinanzi le altre molecole che sono da a in a' nello stesso tempo che le molecole cammineranno in senso inverso da a'' in a, provando al contrario una dilatazione. Succede quindi un movimento in senso inverso quando a torna da a' in a'', e perciò da ciascun lato della lamina a deve esservi alternativamente una dilatazione ed una condensazione, ma solo nella direzione dei due punti fissi, o nodi di vibrazione a' a'', perchè la laminetta a che ne forma il ventre, non sarà mai nè dilatata nè condensata. Nelle vibrazioni dunque longitudinali si formano egualmente de' nodi come nelle traversali.

51. Le leggi generali stabilite su le vibrazioni delle corde, possono dunque riassumersi ne' seguenti teoremi.

1. *Le vibrazioni di una corda sotto una tensione costante sono in ragione inversa della sua lunghezza.* Una corda p. e. che vibra in tutta la sua lunghezza, e che fa in un dato tempo un numero di vibrazioni rappresentato per 1, farà nello stesso tempo de' numeri di vibrazione rappresentati per 2, 3, 4, ec. quante volte, restando la stessa la tensione, si accorciasse di $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, solamente della sua lunghezza primitiva. Ed ove col mezzo di un ponticello mobile sul quale si prema leggermente la corda col dito perchè la tocchi, si facesse vibrare solamente di $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{5}$, della sua lunghezza, essa darebbe de' numeri di vibrazioni rappresentati da $\frac{3}{2}$, $\frac{4}{3}$, $\frac{5}{4}$.

2. *I numeri delle vibrazioni di una corda sono proporzionali alle radici quadrate de' pesi che la distendono.* Or supposto che si rappresenti per 1 il numero delle vibrazioni che dà una corda distesa da un peso $= 1$, rimanendo la stessa la sua lunghezza, questo numero di vibrazioni diverrà nel medesimo tempo 2, 3, 4, 5, 6, ec., ove la corda venisse distesa con pesi eguali a' quadrati di questi numeri, cioè da 4, 9, 16, 25, 36 ec.

3. *I numeri delle vibrazioni delle corde omogenee sono in ragione inversa del loro diametro*, supposte eguali le loro tensioni e lunghezze. Or poichè il diametro di una corda omogenea può determinare nello stesso tempo il suo peso, comunque approssimativamente esatto, ne segue, che a condizioni eguali, una corda più leggiera vibra più celeremente di un' altra più pesante, e perciò la prima deve dare tuoni più acuti che la seconda. Così due corde dello stesso metallo, ove una avesse il diametro doppio dell' altra, la prima farebbe nello stesso tempo della seconda il doppio di vibrazioni. Ciò si avvera tanto nelle corde della stessa materia, ma di diametro differente, che nelle corde di materia diversa poste nelle medesime condizioni; nondimeno le corde di budello sembra che non seguano a tutto rigore questa legge, perchè riesce difficile poterne avere di materia omogenea in tutta la loro lunghezza.

4. *I numeri delle vibrazioni delle corde di materie differenti sono in ragione inversa delle radici quadrate della loro densità.* Così una corda di argento dà un suono più grave di quella di rame, e questa più che la corda di budello, comunque avessero tutte lo stesso diametro e la tensione e lunghezza stessa; e ciò perchè la densità dell' argento è maggiore di quella del rame, e la densità di questo più di quella della corda di budello, paragonate tutte sotto lo stesso volume. Così pure osserviamo succedere nelle corde coverte di filo metallico, come sono quelle dell' arpa, le quali danno suoni più gravi per il peso del metallo aggiuntovi. Ma i teoremi premessi si applicano alle corde omogenee nella loro lunghezza e spessezza, perchè l'ul-

timo esempio vale solo sotto il rapporto de' suoni gravi che aumentano col crescere il peso della corda, e gli acuti col diminuirlo, quantunque restassero le stesse sì la lunghezza che la tensione tanto nelle corde più leggieri che nelle più pesanti (1).

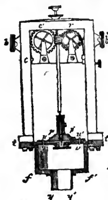
52. È poi conseguenza della legge che regola il numero delle vibrazioni delle corde, dietro la loro lunghezza, che in una corda vibrante, restando la stessa la sua tensione e diametro, può la sua lunghezza dividersi in più parti separate da nodi per aversi i diversi suoni della *gamma*, con tutte le gradazioni che ne conseguitano; ed ove la corda vibrasse nella totalità della sua lunghezza, darebbe il solo *suono fondamentale* dello strumento. Così una corda che fosse fissata per i due punti a' b' e quasi prossima al contatto col ponticello mobile posto in a'', poggiando leggermente il dito su la corda nel punto a'' perchè lo tocchi, facendola vibrare traversalmente col mezzo dell'archetto da violino in un punto compreso fra a' a'', si vedrebbe che a'' b' vibra come se b'' fosse fisso, lo che prova essersi formati due nodi, e perciò la corda vibra in tre parti. Questi nodi possono rendersi visibili mettendo piccoli cavalletti di carta su la corda, perchè si vedrà lanciar fuori quelli che occupano il ventre dei nodi, per il moto vibratorio indotto nella corda, e restarsi fissi que' che sono posti su i nodi. In tal modo può a volontà aumentarsi il numero de' nodi o parti vibranti in una corda, facendo mutar di sito il ponticello, ed i suoni si faranno tanto più acuti, per quanto ciascuna cicloide che ne conseguita si fa più corta. In ogni caso si avrà sempre un sol suono, perchè tutte le cicloidi dovranno vibrare nello stesso tempo; lo che spiega poi come con qualche corda, come è il caso del violino, possano aversi tutt' i tuoni, o suoni musicali, col poggiar solo il dito lungo alla superficie del ponticello sopra differenti punti della corda perchè questa si divida in cicloidi di differenti lunghezze.



53. Da quanto precede è facile verificar le leggi espresse col mezzo del *monocordo*, o sonometro descritto al §. 49, il quale può facilmente dare i semplici rapporti de' numeri delle vibrazioni che corrispondono a' diversi suoni della *gamma*. Ma ove si

(1) Poisson ha dedotto dall' analisi matematica una relazione assai semplice fra i suoni prodotti dalle vibrazioni longitudinali e traversali della stessa corda. La sua formola, verificata da Savart, è $n' \sqrt{l} = n \sqrt{a}$; n n' rappresentano i numeri delle vibrazioni che corrispondono a' suoni prodotti tanto dalle vibrazioni longitudinali che traversali; l esprime la lunghezza della corda, ed a l'allungamento che essa sperimenta sotto il peso che la distende.

volesse valutare il numero assoluto di vibrazioni che corrispondono ad un suono, potrebbe adoperarsi una corda tesa assai lunga, affinchè le vibrazioni possono vedersi e contarsi, accorciandola dopo senza mutar la sua tensione sino ad ottenere un suono della scala armonica: il numero delle vibrazioni allora sarebbe eguale al primo moltiplicato per lo rapporto inverso della lunghezza delle corde. In siffatto modo avendo un termine della serie, i numeri precedenti condurranno facilmente alla determinazione di tutti gli altri. Ma fra i tanti mezzi intentati per determinare i numeri assoluti delle vibrazioni di tutti gli altri suoni, quello che ora viene reputato più esatto è lo strumento inventato da Cagniard de la Tour, che chiamasi *sirena*. Essa è formata da una solida scatola cilindrica di ottone che ha 8 a 10 centimetri di diametro e 3 di altezza. L'aria vi si fa entrare con forza pel condotto *yy'*, che porta poco al disotto una chiave o robinetto. La superficie *pp'* della scatola che la chiude, è ben levigata, ed ha più fori circolari tagliati obliquamente al suo asse in *uu'*, che sono eguali in grandezza ed equidistanti gli uni dagli altri, disposti su la circonferenza di un cerchio concentrico a quello che limita la superficie su cui sono situati. Il centro di questa superficie sopporta la estremità inferiore di un asse solido di acciaro verticale, la cui parte superiore finisce con una vite perpetua, che sta dentro un'altra scatola rettangolare *c' r* più lunga che larga, posta orizzontalmente. Quest' asse, che deve avere una mobilità grandissima, porta nel basso, prossimamente alla superficie della scatola cilindrica, il disco *pp'* anche di ottone fisso su lo stesso asse, che esso trascina nella sua rotazione, e che deve sempre restare ad una distanza estremamente piccola dalla faccia superiore della detta scatola cilindrica. Questo disco contiene un egual numero di fori che ha la superficie della scatola, *uu'*, anche equidistanti, ed obliqui in senso inverso di quelli che sono in quest' ultima, e che nella sua rotazione debbono trovarsi successivamente sopra quelli della faccia superiore della scatola, in modo che i loro assi vi s' incontrino ad angolo ottuso. L' altra estremità dell' asse mobile porta una vite continua la quale mette in movimento la ruota *c*, che ha 100 denti, e questa comunica la sua rotazione all' altra ruota indipendente *r*, per mezzo di un piccolo braccio di leva fissato su l' asse della ruota *c'*, ma la



ruota *r'* non avanza che di un dente per ciascuna rivoluzione della ruota a 100 denti *c'*. L'asse di ciascuna ruota porta un ago che corre i due quadranti *dd'* che li sono soprapposti, e così le due ruote formano il *contatore* dello strumento. Il bottone *b* serve per fare avanzare il contatore, e l'altro *b'* per arrestarlo, lo che si ottiene premendo l'uno o l'altro leggiermente.

Per mezzo della disposizione de' fori che sono inclinati alle facce delle due superficie descritte, quando l'aria è spinta con forza nella scatola, nell'uscirne per quelle aperture, mette in moto di rotazione l'asse che porta il disco *pp'*, ed in conseguenza deve risultarne una intermittenza di scolo ed un seguito di urti cagionati dall'aria, da' quali poi ne deriva il suono.

Per comprendere il giuoco di tutto lo strumento, si supponga che nel coverchio della scatola vi fosse un sol foro circolare, e nel disco di rotazione dieci; quando la corrente di aria mette il disco in moto, si avrà che durante una sua compiuta rivoluzione, il foro del primo sarà 10 volte aperto ed altrettante volte chiuso, e perciò l'aria sarà 10 volte cacciata fuori, e dieci volte arrestata. Or siccome per l'aria che è alternativamente spinta fuori ed arrestata dentro la scatola, deve prodursi a ciascuna alternativa una vibrazione, ed aversi 20 vibrazioni per ciascuna evoluzione compiuta del disco, il quale avendo dieci aperture, deve dieci volte chiuderle, si avranno in ogni secondo 10 × per 20 = 200 vibrazioni. Che se poi ammettiamo aver luogo l'effetto a diversi intervalli di secondo, come ad 1", 1"/10, 1"/100, il disco farà 1, 10, 100 giri per secondo; ed essendo in questo mentre l'aria vivamente spinta fuori, e bruscamente arrestata, in questi intervalli si avranno 20, 200, 2000 vibrazioni per secondo.

Da ciò che si è premesso rileviamo come la sirena può dare tanti svariati suoni che per gradazioni insensibili vanno dal più grave al più acuto. Così aumentando il numero de' fori nello strumento si crescerà la forza del suono, il quale poi si farà di più in più acuto quando si dà al disco mobile una rotazione di più in più celere, ed al contrario. Inoltre, se invece di supporre un sol foro nella superficie del coverchio, questo ne avesse dieci, come nel disco mobile, si avrebbe allora cresciuto il suono solamente dieci volte nella sua intensità, non già variato, dappoichè ciascun foro produrrà sempre il suo effetto come se fosse solo, o indipendente da tutti gli altri, qualunque ne fosse il numero.

54. La sirena intanto offre ancora non poche difficoltà quanto vuolsi determinare la qualità o metallo del suono. Così l'influenza del numero, forma, e grandezza de' fori, come ancora la natura del metallo con cui si fa la sirena, la spessezza del coverchio e del disco, e la facilità del movimento di que-

st' ultimo, debbono contribuire a presentare qualche differenza ne' risultamenti, al che pure contribuisce la distanza che separa i piani pieni che sono fra gli uni e gli altri fori. Caguiard la Tour ha potuto solo notare, che ove questi intervalli fossero troppo piccioli, per la multiplicità de' fori il suono allora si avvicina alla voce umana, ed al contrario esso si approssima a quello della trombetta.

Non ostante le difficoltà espresse, la sirena è considerata come il mezzo che permette il più approssimativamente possibile meglio determinare il numero assoluto delle vibrazioni che corrispondono ad un dato suono, e per riuscirvi, lo sperimento si fa situando prima sopra un soffietto un tubo proprio a dare un suono determinato, come ad esempio quello del *diapason*, che si usa per accordare gli strumenti di musica, e che da noi chiamasi *corista*, il quale serve a dare allo strumento una delle consonanze musicali, e dopo si situa a lato di questo strumento il portavento della sirena. Con un poco di abitudine si perverrà a poco a poco a portare la sirena all' unisono col condotto, e quando vi si sarà sostenuto per qualche minuto, si preme subito ad un istante dato il bottone del contore e quello di un buon cronometro a secondi che serve per misurare la durata delle vibrazioni prodotte dal suono, e dopo tre a quattro minuti si arresta il cronometro ed il contore. In siffatto modo si avrà col primo segnato il tempo, col secondo il numero delle vibrazioni che dinota il quadrante della sirena, e col *diapason* la natura del suono.

Lo stesso Cagnard de la Tour ha sperimentato, che per un egual numero di intermittenze, il suono era lo stesso tanto quando il disco era posto in movimento da una corrente di aria che di acqua (*Ann. de Chim. et de Phys.* tom. 12).

55. La *ruota dentata* adoperata da Savart, che ha 600 denti, e per mezzo della quale producendosi un moto di rotazione abbastanza rapido, che le vien comunicato da un altra ruota più grande che le sta di rincontro, e che ha metro 1,80 di diametro, urtando essa contro una falda di carta, dietro l'urto successivo e rapido de' denti può dare 24000 urti in 1". Regolando quindi il moto della grande ruota a piacere, e variando il numero de' denti in altre ruote dentate per sostituirle alla prima, possono aversi diversi suoni, i quali sono sempre continui, assai precisi, e tali da porsi benissimo in accordo col *diapason*, come si è detto che fa la sirena. La carta in questo caso vibra per la sua elasticità, come una lamina o come una corda, e per l'effetto di ciascun dente della ruota, essa compie una vibrazione doppia, cioè un' onda condensata ad un onda rarefatta; facendo in ciascun secondo altrettante vibrazioni doppie per quanti denti passano per ur-

tarla, e perciò basta conoscere il numero de' denti per trovar quello delle vibrazioni, lo che poi viene segnato da una vite continua che ingrana in una ruota destinata a servir di contatore, il quale è analogo a quello della sirena.

Savart dopo un seguito di sperienze rigorosamente esatte, ha confermato, che il *la* del *diapason* corrisponde ad 880 vibrazioni semplici, come erasi provato con la sirena. Or sapendosi il numero delle vibrazioni che corrispondono ad un suono della *gamma* musicale, riesce facile avere il numero delle vibrazioni corrispondenti ad un altro suono qualunque. Così il *la* del diapason essendo un la 3 ed il *la* del violoncello un la 2, ne risulta che questo fa 440 vibrazioni, il *la* 1 220, il la — 1 110, il la — 2 solo 55, e l' ut — 2 ne fa 33.

Volendo Savart meglio trovare il limite de' suoni percettibili all' udito, cambiando per poco la disposizione dell' apparecchio, sostituendo alla ruota dentata una verga di ferro o di legno pe' suoni gravi, quando la verga posta in moto più celere passava 7 ad 8 volte per secondo su l'ostacolo vibrante, il suono diveniva continuo, e di una forza e gravità notevole. In siffatto modo egli potè produrre un suono tanto grave, che l'orecchio avvertiva distintamente, con sole 14 a 16 vibrazioni, sapendosi prima, che questo suono non si avvertiva se non quando dava 32 vibrazioni per secondo. Così ciascun urto della verga produce similmente una vibrazione doppia, perchè dà un'onda condensata ed un'altra dilatata, come si è detto per la ruota dentata.

Inoltre lo stesso autore per trovare il limite del suono acuto, si avvisò dare alla sua ruota dentata del primo apparecchio un diametro assai più grande, portandovi il numero de'denti sino a 720, affinchè ne passassero 24,000 per secondo, lo che dava, 48,000 vibrazioni semplici, ed il suono comunque eccessivamente acuto era nondimeno percettibile all' udito. Così Savart estese non solo considerevolmente il limite delle vibrazioni per i suoni acuti, le quali prima eransi spinte solo da 12 a 14 mila per secondo, e pe'suoni gravi a 32, ma provò ancora esser costituito il nostro organo dell' udito con tale ordine ammirevole, che esso può ora distinguere gli uni dagli altri tutt' i suoni compresi nei due limiti fissati, cioè da 15 a 48000 vibrazioni per secondo (1).

(1) Despretz, in una memoria recentemente rapportata nel num. 17 del tom. XX des *Comtes-rendus de la R. Academia des Sciences*, 28 Aprile 1845, ha esposto un seguito di sperienze su i limiti sinora assegnati alla percezione del suono, dalle quali si deduce, 1. che sinora non è dimostrato potersi dall' orecchio umano valutare e classificare de' suoni al di sotto di 30, secondo Chladni, o secondo Biot a 32 vibrazioni per secondo; 2. che quest' organo può intendere, valutare e classificare con più o meno difficoltà i suoni compresi dopo 32 fino a 73000 vibrazioni semplici. Tuttavolta egli fa

Da quanto precede, comunque le vibrazioni prodotte col mezzo della sirena e delle ruote dentate si fossero spinte assai più innanzi di quello che erasi ottenuto con altri strumenti, nondimeno il suono più grave che possa perfettamente valutarsi dall'organo uditivo, si è ritenuto esser quello che si aveva da un corpo sonoro che faceva 30 a 32 vibrazioni almeno in un secondo, e che i suoni percettibili più acuti si avevano con 16384 vibrazioni prodotte nello stesso intervallo di tempo; come ancora che il *do* più grave del piano forte e del violoncello era di circa 128 vibrazioni. Dopo questi dati ha potuto anche dedursi, che i limiti estremi della voce dell'uomo sono fra 192 e 633 vibrazioni per secondo, e quelli della donna fra i 576 a 1620.

Ed in ultimo le ricerche di Chladni su la formazione del primo suono più grave, portato a 30 vibrazioni per secondo, perchè fosse percettibile al nostro organo dell'udito, furono dopo, le ricerche di Biot condotte a 32, ma Saveur avendo osservato che una canna di 40 piedi lunga rende un suono anche percettibile, se la legge delle lunghezze fosse mantenuta in questa circostanza, e se il suono prodotto fosse il suono fondamentale, cioe il primo de' suoni più gravi, esso sarebbe prodotto da 25 vibrazioni semplici per secondo; ma occorreva che un tal suono fosse stato classificato relativamente ad un altro suono ben determinato, lo che non venne fatto da Saveur.

Vibrazione delle verghe o lamine.

56. Quando una verga o lamina elastica è fissata per un'estremità e se le comunica nell'altra un moto istantaneo e rapido, allontanata essa dallo stato di riposo, vibra e produce un suono. In questo caso il numero delle sue vibrazioni è in ragione inversa del quadrato della sua lunghezza, lo che può conoscersi dal suono più acuto che dà la lamina vibrante a misura che si fa più corta. L'accrescimento del numero delle vibrazioni è in una proporzione più rapida che nelle corde, e la larghezza delle lamine non ha alcuna influenza sopra i suoni da esse renduti, quando sono poste in vibrazione traversalmente. E difatti, quan-

osservare, che la stima de' suoni acutissimi non è tanto facile da farla entrare nella scala musicale, ed in ultimo egli crede potersi adoperare de' piccoli *diapason*, o *coristi sonanti* dal *do* 4 sino al *do* 8, forniti o no di cassa armonica, per trovare la sensibilità crescente o decrescente nel medicare le affezioni dell'udito. Così egli opina potersi usare de' *diapason* mediocri muniti di casse armoniche, isulati e disposti in accordo, per produrre i più begli effetti unendoli a' piano-forti o a piccole orchestre; dappoichè dalle sue sperienze ha dedotto, che anche de' grandi *diapason* suonanti *do* 1, e *do*—1 fornirebbero de' pedali superiori in purezza ed anche in intensità de' suoni a quanto ci possono dare gli strumenti da fiato. In allora forse si troverebbero negli accordi compresi fra *do* 1, e *do* 2 degli effetti *pienamente sconosciuti* nella musica attuale.

do si fanno vibrare allo stesso modo due lamine omogenee della stessa lunghezza, ma di larghezza differente, si vedrà che esse daranno esattamente lo stesso suono fondamentale all' unisono. Osservasi poi che il numero delle vibrazioni è in ragion diretta della spessezza delle lamine, lo che è precisamente il contrario per le corde. Anche come nelle corde, si fanno dei nodi nelle lamine, perchè mettendovi pochi grani di polvere su la superficie, si vedranno in riposo que' che ne occupano i ventri, e la disposizione de' nodi può variare all' infinito. Che se poi la verga fosse fissata per le due estremità, come sono le corde negli strumenti a corde, le vibrazioni allora si fanno allo stesso modo che nelle corde. Lo strumento comune che va sotto il nome di *glasscord*, fatto con lamine di vetro, disposte in forma piramidale a poca distanza le une dalle altre, e fissate pe' due estremi sopra una cassa di legno, è uno strumento di questo genere, ed il suono si ha percuotendo destramente le lamine con una pallina di legno raccomandata ad un manico sottile della stessa sostanza. Questo strumento, allorquando è fatto da lamine legno meglio elastico, invece di vetro, dicesi *claquebois* o *xylocordéon*. Il *diapason*, il triangolo di acciaro ec. danno anche l' esempio del suono prodotto dalle vibrazioni delle verghe ec.

Quando una verga dritta è sostenuta solo nel mezzo ed ha le due estremità libere, vibra come le canne aperte, e dà suoni che seguono la serie de' numeri naturali 1, 2, 3, 4, ec.

Il numero delle vibrazioni longitudinali delle verghe è in ragione inversa delle lunghezze, qualunque ne sia il diametro e la forma. La serie de' suoni successivi delle corde e delle verghe rigide è la stessa quando le une e le altre compiono vibrazioni longitudinali. Percuotendo la verga in un punto, si può produrre de' nodi a piacere. Le vibrazioni longitudinali si producono come si è detto per le corde, confricandole cioè nel senso della loro lunghezza colle dita, o con un panno coverto di polvere di resina. Quanto al vetro, vi si riesce meglio con le dita bagnate con acqua, come si fa su l' orlo dei bicchieri quando vuole aversi degli accordi nello strumento detto *armonica*, il quale è formato da un certo numero di bicchieri ineguali in grandezza, ma simili per la loro forma.

Vibrazione delle piastre o delle superficie elastiche.

57. Le piastre son considerate verghe più larghe. Una piastra percossa, si divide in parti vibranti ed in linee di riposo, o *linee nodali*. Nelle piastre della stessa natura e della stessa forma, il numero delle vibrazioni è in ragion diretta della loro spessezza. Così ove la spessezza di due piastre fosse nel rap-

porto di 1 a 2, la seconda darebbe l'ottava della prima, perchè nello stesso tempo farebbe il doppio di vibrazioni. Al contrario poi succederebbe alla superficie delle piastre, perchè essendo il numero delle vibrazioni in ragione inversa dalle superficie, una piastra che avesse la superficie come 1, darebbe l'ottava dell'altra la cui superficie fosse 2. Anche come le verghe, le piastre possono offrire suoni variati e nodi, quante volte si percuotano in diversi punti. Può ciò provarsi spargendone la superficie con polvere colorata, perchè dopo la percossa si vedranno formare delle figure assai variate, che sovente presentano una simmetria particolare, ma che possono unirsi in tre sistemi differenti, cioè *diametrale*, *concentrico*, e *composto*. In generale si è potuto stabilire, che quando un sistema rigido di forma qualunque è posto in vibrazione, sia longitudinalmente, che traversalmente, esso dividesi costantemente in un certo numero di parti di cui ciascuna fa le sue vibrazioni separatamente. In ultimo i nodi nelle piastre variano secondo la direzione del corpo che le mette in vibrazione, e quando si fanno vibrare con colpi di archetto distaccati, si avranno vibrazioni che Savart ha chiamate *tornanti*, le quali sono visibili da'moti circolari che una polvere postavi nella superficie prende dopo le percosse.

Vibrazione delle membrane.

58. Quando le membrane ben tese son poste in vibrazione, con la percossa, o col confricamento, esse danno suoni abbastanza intensi, perchè una grande superficie deve mettere in vibrazione una più grande quantità di aria. Il suono si fa più intenso a misura che le membrane sono più tese, come avviene nella *gran-cassa* o grande tamburo militare. Le vibrazioni delle membrane han molta analogia con quelle delle piastre. Anche come queste, quando vi si mettono sopra alquanti grani di fina sabbia, questi saltellando si accumolano sopra i punti di riposo, o linee nodali, per formarvi figure variate, le quali differiscono per la tensione della membrana e per l'acutezza del suono che la mette in vibrazione.

Savart ha fatto molte ricerche su le vibrazioni delle membrane, prodotte da corpi sonori che operavano su quelle ben tese, e da lui tenute a poca distanza da que' corpi, mentre che producevano il suono. Così avvicinandole ad una canna d'organo, in cui il suono è pieno e sostenuto, vide la membrana vibrare come quando era percossa direttamente.

Vibrazione delle campane.

59. Quando mettesi in vibrazione la campana, osservasi che essa si schiaccia in un senso e si allunga nell' altro, descrivendo ovali più o meno sensibili ; ma in questo mentre essa in ogni oscillazione riprende la figura di prima , la sorpassa , come le corde e le lamine vibranti , e non torna allo stato di riposo, che dopo un seguito di numerose oscillazioni. Può ciò provarsi avvicinando alla campana , posta nella posizione verticale , una vite che finisce a punta prossimamente in contatto col suo orlo ; percuotendo la campana si vedrà il suo orlo batter successivamente contro la punta della vite , poi allontanarsene , facendo in ogni volta sentire un seguito di urti assai distinti.

Anche nelle vibrazioni delle campane si formano de' nodi , i quali possono conoscersi aspergendovi internamente la leggiera e sottile polvere di licopodio. In generale le campane fanno vibrazioni perpendicolari come le piastre , e si dividono ancora come queste in diverse parti separate da linee nodali.

Vibrazione de' liquidi.

60. Le vibrazioni de' liquidi succedono più ordinariamente per mezzo delle pareti de'vasi in cui sono contenuti. Così quando si percuote o si frega una verga su cui è fissato un vaso che contiene il liquido, si veggono sollevare delle goccioline che son lanciate a qualche pollice di distanza. Si è detto più innanzi al §. 53 come Cagniard de Latour pervenne su le vibrazioni de' liquidi a congegnare uno strumento che disse *sirena ;* ma le vibrazioni sonore che il giuoco della sirena può eccitare ne' liquidi, sembra che abbiano un' altra origine.

Anche sotto dell' acqua quando vi si percuote un corpo solido sonoro , si eccitano vibrazioni nella massa liquida, ed il suono o rumore può sentirsi da lontano. Il liquido in questo caso è posto nello stato di scuotimento direttamente in tutt' i punti che toccano il corpo solido posto in vibrazione.

Le vibrazioni normali e longitudinali de' dischi e delle verghe, di cui si è parlato più innanzi, possono anche con un urto diretto metter l' acqua ed altri liquidi allo stato di vibrazione. Anche indipendentemente da' corpi solidi , le scintille elettriche possono eccitare ne' liquidi vibrazioni sonore , e produrre un rumore distinto , sostenuto in mezzo di una massa liquida. La trasmissione poi del suono attraverso i liquidi è maggiore di quella dell' aria e degli altri gas.

Percezione e comparazione de' suoni. — Intervalli musicali, e Teorica fisico-musicale.

61. La serie de' suoni che producónsi da' diversi corpi sonori, e che l'organo dell' udito può esattamente distinguere, cominciando dal più grave sino al più acuto, racchiude un infinità di altri suoni intermedii. Ma se cominciasi dal più grave, si vedrà che molti di essi confondonsi in modo, come succede delle gradazioni de' colori, che il nostro organo uditivo non avverte che un solo suono. Lo stesso avviene del 2.° col 9.°; del 3° col 10°, ec. Dopo queste coincidenze de' suoni, si è pervenuto a trovare un seguito di *periodi* che non sono identici, fra essi, perchè andando dal grave all' acuto, ciascun suono che li forma è sempre più acuto di quello che precede. E così prendendo a base questi periodi, si son fatti i sette suoni principali per la musica, che vengon designati co' nomi di *ottave*, e sono considerati come l' accordo più perfetto. Or saggiando col monocordo quali suoni producono una di queste ottave, si vedrà che le lunghezze delle corde sono doppie le une delle altre, e perciò le vibrazioni sono metà meno numerose. Per questi due suoni l'organo dell' udito vi trova più che per altri assai di analogia fra essi, ad eccezione di due suoni egualmente gravi, il cui insieme forma ciò che dicesi *unisono*. Che se poi cercasi fra i due suoni precedenti quello che ha più analogia col più grave de' due, si troverà che la lunghezza della corda che lo produce è $\frac{2}{3}$ della prima, e questo *accordo* porta in musica il nome di *quinta*. Continuando in siffatto modo la stessa ricerca, si troverà successivamente nella corda che li produce, delle lunghezze eguali a $\frac{3}{4}$ per la *quarta*; a $\frac{3}{5}$ per la *sesta*; a $\frac{4}{5}$ per la *terza*; ad $\frac{8}{9}$ per la *seconda*, e ad $\frac{8}{15}$ per la *settima*. Questi suoni, di cui il più acuto è l'ottava del più grave, han ricevuti i seguenti nomi:

Nomi italiani delle note	*do*	*re*	*mi*	*fa*	*sol*	*la*	*si*	*do*
Nomi francesi delle note	*ut*,	*re*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*,	*ut*.
Lunghezza delle corde che le producono.	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$	2
Numero delle vibrazioni nello stesso tempo.	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2

Le stesse relazioni si producono spingendo la medesima serie più innanzi. I suoni portano gli stessi nomi e nello stesso ordine. Essi saranno espressi da numeri che avranno fra loro lo stesso rapporto di quelli sopra notati, e perciò questi nomi non esprimono suoni presi a tal punto determinato nel seguito de' suoni, ma sono solamente relativi, in modo che di due

suoni, l'uno sarà sempre la *quinta* dell' altro quando saranno prodotti da vibrazioni il cui numero sarà, nel primo tempo, $\frac{3}{2}$ per l' uno, ed 1 per l' altro, qualunque si fosse la gravità loro; lo che prova, che ciò che dicesi *intervallo musicale*, non denota la differenza che si ha sottraendo la espressione numerica di un suono da quella dell' altro, ma si bene il loro rapporto che può trovarsi dividendo l' uno per l' altro. Or continuando la serie di sopra espressa, si avranno più ottave successive, le cui note saranno espresse da numeri nello stesso rapporto fra essi che quelli della prima ottava, e per conseguenza essi saranno doppii di questi, poichè si parte dal secondo *do* rappresentato per 2, la cui ottava, cioè il terzo *do* è 4.

62. Distinguendo queste note con cifre, si avrà che il sol^3 dinota il *sol* della terza ottava, e se suppongasi che è una parte del più grave de' suoni percettibili all' udito, cioè di quello prodotto da una vibrazione in $\frac{1}{32}$ di secondo, allora l'intervallo de' suoni valutabili abbraccerà otto ottave, delle quali le prime note saranno: $do^1 = 1$, $do^2 = 2$, $do^3 = 4$, $do^4 = 8$, $do^5 = 16$, $do^6 = 32$, $do^7 = 64$, $do^8 = 128$, che è l' altro limite de'suoni distinti percettibili, perchè 128 vibrazioni in $\frac{1}{32}$ di secondo daranno $32 \times 128 = 4096$ vibrazioni per secondo. Inoltre fra questa serie di suoni ve n'ha di quelli che sono più notevoli degli altri, e son quelli che seguono i numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, 6, ec. e questi si dicono *suoni armonici*. Or se cercasi come sono essi rappresentati nella serie di sopra esposta, si troverà che i suoni 1 e 2 lo sono per il do^2.

62. Da quanto precede può dedursi, che ciò che dicesi *intervallo* in musica, è un *rapporto* e non una *differenza;* dappoichè da qualunque delle possibili ottave o *parti*, o strumento si producono i suoni, l'intervallo dall'uno all'altro, è sempre una ragione geometrica, ed ogn' intervallo prende il nome dalla distanza che passa fra l' uno e l' altro suono. In generale, a certe restrizioni, moltiplicando o dividendo per 2 l'espressione di qualunque suono, si ha l'ottava acuta o grave del medesimo. Cosi l' esperienza dimostra, che nel tempo in cui la corda vibrante che produce il suono *do* fa 1 vibrazione, quelle che producono gli altri suoni di questa scala, ne faranno, pel *re* $1 + \frac{1}{8}$; pel *mi*, $1 + \frac{1}{4}$; pel *fa*, $1 + \frac{1}{3}$; pel *la*, $1 + \frac{2}{3}$, pel *si* $1 + \frac{7}{8}$, e pel secondo *do* ne produce 2; talchè i rapporti delle diverse vibrazioni delle altre corde che le producono, con la vibrazione della prima presa per unità, come in questo caso è il *do*, vengono cosi espresse:

do $= 1$; re $= \frac{9}{8}$; mi $= \frac{5}{4}$; fa $= \frac{4}{3}$ sol $=$ [illegible]; la $= \frac{5}{3}$ si $= \frac{15}{8}$; do $= 2$.

Ove poi vogliano tali rapporti calcolarsi non dal numero delle vibrazioni delle corde, ma dalla loro lunghezza, in tal caso, essendo le lunghezze reciproche al numero delle vibrazioni che

fanno in egual tempo, le precedenti espressioni de' rapporti dedotti dalle vibrazioni, vengono rovesciate, ed invece si avrà do $= 1$; re $= \frac{8}{9}$; mi $= \frac{4}{5}$; fa $= \frac{3}{4}$; sol $= \frac{2}{3}$; la $= \frac{3}{5}$; si $= \frac{8}{15}$; do $= 2$.

L' ultimo *do*, che dista 8 voci dal primo, come qualunque altra nota o parte della gamma, cioè della scala musicale, che ne dista egualmente otto voci, dicesi all' *ottava* di quella, ed è prodotta da un numero di vibrazioni doppio, ovvero suddu-plo, fatte nello stesso tempo.

Dopo questi dati possono formarsi infinite progressioni diatoniche delle voci, tanto verso l'acuto, che verso il grave, moltiplicando e dividendo successivamente per 2 tutt' i surriferiti rapporti; perchè in tal modo il do^3 non è compreso nella prima ottava, perchè esso è doppio di $\frac{3}{2}$, e perciò diviene sol^2; il suono 4 è un do^3; il suono 5 così diviso per 2, dà $\frac{5}{2}$, e diviso ancora per $\frac{5}{4}$ dà il *mi*; ed il 5 così diviso due volte per 2 diviene due ottave al di sopra, cioè mi^3. Si troverà similmente, che il 6 è il sol^3, ma il 7 non si troverebbe compreso esattamente in questa serie, perchè esso va fra la^3 e si^3. L'8 è eguale al do^4, ed il 9 al re^4. In generale bisogna raddoppiare, o dividere per 2 il suono dato, sino che esso cada fra 1 e 2, cioè nella prima ottava; il qual mezzo fa conoscere a qual nota esso risponde, ed il numero di volte che si sarà diviso per 2, indicherà a quale ottava esso appartiene.

I suoni così espressi non sono sempre adoperati nella musica, e soprattutto gli estremi lo sono più raramente; il che deriva dalla troppo limitata estensione della voce umana dal suono più grave al più acuto. Così d'ordinario essa non abbraccia più di tre ottave, anzi una stessa voce di raro può darne più di due ben precise e bene sfogate. Più innanzi si è detto che la voce degli uomini è quasi sempre più grave di quella delle donne: i primi vanno d' ordinario dal sol^3 al fa^3, e la voce delle donne può estendersi dal re^5 al la^6 (1).

63. Rappresentati in tal modo i suoni della gamma, o scala musicale, cioè per mezzo di numeri proporzionali al numero delle lor vibrazioni, ove si divida il secondo per il primo, il terzo pel secondo, e così di seguito, si avranno gl' intervalli de' suoni che diconsi ancora *tuoni*, i quali secondo le circostanze prendono i nomi di *tuoni maggiori*, *tuoni minori*, *semi-tuoni*. Che se poi nel valutar l' intervallo che passa fra un suono al-l' altro, come dal *do* al *re*, dal *mi* al *fa* ec. si divida l' uno per l' altro, il rapporto resta lo stesso; i suoni allora saranno egua-

(1) La totale estensione della voce umana si divide da' musici in quattro parti, dette *basso*, *tenore*, *contralto*, *soprano*. Il basso canta le note più gravi; il tenore le medie; il contralto canta all' ottava alta del basso, ed il soprano all' ottava alta del tenore. Si sa poi che gli uomini possono, in generale, cantare il basso ed il tenore, e le donne il contralto ed il soprano.

li, l'intervallo diviene nullo, ed il suono dicesi che è all'unisono, come p. e. quando 1 : 1. L'intervallo dunque che separa due suoni successivi, deve intendersi per la quantità di cui il suono s'innalza o si abbassa, o più esattamente, per il rapporto delle loro vibrazioni nello stesso tempo.

Or da ciò ch'è detto noi troviamo, che dal *do* al *re* l'intervallo è = ad 1 secondo; dal *do* al *mi* di un terzo; dal *do* al *fa*, di un quarto; dal *do* al *sol*, di un quinto; dal *do* al *la* di un sesto; dal *do* al *si* di un settimo; dal *do* al *do* di un'ottavo. Queste indicazioni dinotano l'ordine che una nota occupa nella gamma.

64. Dopo questi dati, volendo estimare i rapporti successivi fra i suoni della gamma, dividendoli, come si è detto più sopra, gli uni per gli altri, cioè l'antecedente per il conseguente, quando si va dall'acuto al grave, ed al contrario il conseguente per l'antecedente, quando si va dal grave verso l'acuto, si avranno, negl'intervalli corrispondenti, che dinoteremo co' numeri 1, 2, 3, ec. le differenze ed i tuoni che risultano co' nomi più frequentemente usati.

Differenza	Intervalli	Nomi de' tuoni
1	dal *do* al *re* $\frac{9}{8}$	tuono maggiore
2	dal *re* al *mi* $\frac{10}{9}$	tuono minore
3	dal *mi* al *fa* $\frac{16}{15}$	semi-tuono maggiore
4	dal *fa* al *sol* $\frac{9}{8}$	tuono maggiore
5	dal *sol* al *la* $\frac{10}{9}$	tuono minore
6	dal *la* al *si* $\frac{9}{8}$	tuono maggiore
7	dal *si* al *do* $\frac{16}{15}$	semi-tuono maggiore.

Questi intervalli progrediscono dal grave verso l'acuto, ma se dall'acuto si volesse scendere verso il grave, si avrebbero le espressioni rovesciate. Così il tuono maggiore diverrebbe $\frac{8}{9}$ invece di $\frac{9}{8}$; il tuono minore $\frac{9}{10}$ invece di $\frac{10}{9}$, ed il semituono maggiore $\frac{15}{16}$ invece di $\frac{16}{15}$; lo che comprova, che se dal grave si va verso l'acuto bisogna dividere il conseguente per l'antecedente; ed al contrario, ove dall'acuto si volesse scendere verso il grave, si dividerà l'antecedente pel conseguente; poichè i rapporti delle vibrazioni debbono divenir nel primo caso maggiori e nel secondo minori dell'unità, il che è coincidente col principio della progressione.

Negl'intervalli segnati nella precedente tabella, quelli che sono nelle linee corrispondenti de' numeri 1, 4, 6, e che dinotano il *tuono maggiore*, sono tutti e tre $\frac{9}{8}$, e perciò sono eguali fra essi. Que' de' numeri 2 e 5, che danno il *tuono minore*, sono egualmente uguali, cioè $\frac{10}{9}$; gli altri de' numeri 3 e 7, contrassegnati con $\frac{16}{15}$ per il *semituono maggiore*, hanno lo stesso valore, e perciò ne' sette rapporti espressi fra i suoni

successivi della scala musicale, tre sono i tuoni che ne risultano, dagl' intervalli che passano fra l' uno all' altro. Osservando poi i rapporti che sono fra il tuono maggiore ed il tuono minore, in corrispondenza de' numeri 1 e 2, noi troviamo poca differenza nel valore degl' intervalli segnati, cioè $\frac{9}{8}$ per il primo e $\frac{10}{9}$ pel secondo; e paragonando un tuono maggiore ad un tuono minore, si avrà l' intervallo dividendo $\frac{9}{8}$ per $\frac{10}{9}$ $= \frac{81}{80}$, il che dimostra differire appena dall' unità. Questa differenza si poco sensibile è ciò che dicesi *comma*, e viene riguardata a ragione come quantità da potersi trascurare. Così pure negli intervalli de' numeri 2 e 3, cioè del tuono minore e del semituono maggiore, la differenza è ancora appena sensibile, dappoichè dividendo $\frac{10}{9}$ per $\frac{16}{15}$ si avrà $\frac{25}{24}$, e questo intervallo più piccolo che $\frac{16}{15}$ si chiama *semituono minore*.

Ma quantunque questi due intervalli portino il nome di semituoni, non dimeno essi non posson considerarsi come uguali alla metà di un tuono, perchè se ciò fosse vero, dovrebbe una nota moltiplicata due volte per $\frac{16}{15}$ dar lo stesso risultamento che quando fosse moltiplicata per $\frac{9}{8}$, lo che poi non si avvera.

65. Il bisogno della musica ha suggerita l'idea d'intercalare i suoni fra le note della gamma quando occorre alzarli o abbassarli, ogni volta che essi presentano un intervallo non così piccolo, come si è detto nel *comma*, ma grande abbastanza perchè non si potesse trascurare. Si usano perciò due segni particolari, cioè il *diesis* quando si vuole alzare il valore di una nota di un semituono minore, ed il *bimmolle* se vuole abbassarsi della stessa quantità, il che si ottiene per il primo moltiplicando il valore primitivo della nota per $\frac{25}{24}$, e per il secondo moltiplicandolo al contrario, cioè per $\frac{24}{25}$.

Ecco il valore de' diesis e de' bimmolli, che segneremo, i primi, con la lettera D, ed i secondi, con B.

Do 1	— do D	$\frac{25}{24}$	, ovvero 1,0416		sol D	$\frac{25}{16}$	ovvero	1,5625
	— re B	$\frac{27}{25}$	—	1,0800	la B	$\frac{8}{5}$	—	1,6000
	— re D	$\frac{75}{64}$	—	1,1718	la D	$\frac{125}{72}$	—	1,7361
	— mi B	$\frac{6}{5}$	—	1,2000	si B	$\frac{9}{5}$	—	1,8000
	— mi D	$\frac{125}{96}$	—	1,3020	si D	$\frac{125}{64}$	—	1,9531
	— fa B	$\frac{32}{25}$	—	1,2800	do B	$\frac{48}{25}$	—	1,9200
	— fa D	$\frac{25}{18}$	—	1,3888	do B	2	—	2,000
	— sol B	$\frac{36}{25}$	—	1,4400				

Se ora immaginiamo tutte le note della gamma segnate con diesis e bimmolli, o come anche dicesi *diesate* e *bimmollate*, si avrà dal *do* all' altro 22 note differenti, ma assai inegualmente spazieggiate fra esse. Così dal *do* al *re* vi ha più di due semituoni, donde risulta che il *do* segnato col diesis non vale il

re segnato col bimmolle, ma esso ne dista di poco; il *re* con diesis non vale *mi* con bimmolle, perchè ne dista ancora di meno. Quanto al *mi* esso sarà più alto che *fa* con bimmolle, perchè dal *mi* al *fa* non vi passa che un semituono maggiore che sorpassa di poco il semituono minore, e così per gli altri.

66. Nonostante il gran numero di suoni che si sono inseriti fra il *do* ed il seguente, ciò ancora non basta; il perchè nelle scritture di musica si è sovente costretti a produrne qualche altro che non vi sarebbe contenuto. Egli è vero, che quando nella musica si alza o si abbassa un suono si fa sempre per uno degl'intervalli dianzi segnati, cioè per quinta per quarta ec.; o per semituono; ma poichè si è detto che due semituoni minori non fanno un tuono, ne risulta, che se dopo di averlo alzato più volte per quinte, si volesse scendere di nuovo per semituoni, non si ricaderebbe su gli stessi suoni da cui si è partito. Per alcuni strumenti a suono variabile, come la voce umana, il violino ec., che posson produrre diversi suoni, qualunque si fossero i loro intervalli, non vi sarebbero inconvenienti assai notevoli, ma negl'istrumenti a suono fisso, come per il gravicembalo, per l'arpa ec., ove non vi ha che un numero di suoni limitati, ciò non si può praticare, e fa duopo assolutamente, quando si abbassa di nuovo dopo avere alzato un suono, usar le stesse note di cui erasi fatto uso; e perciò non può farsi che alterando un poco la giustezza del suono. In questo caso si opera supponendo come se due semituoni valessero esattamente un tuono, e che tutt' i suoni fossero eguali tra essi. Così dal *do* all' altro si contano 12 semituoni, cioè due quando vi ha un tuono, sia maggiore o minore, ed uno quando vi ha un semituono maggiore *medio*; ma essi debbono esser tali, che una nota moltiplicata dodici volte di seguito per il numero che la rappresenta, dia quasi esattamente l'ottava, cioè il numero doppio 2. In cotal uopo si ricorre a' logaritmi, perchè senza il loro soccorso sarebbe assai faticoso a cercar queste quantità (1). Si troverà allora che questo numero è 1,059463, e così partendo dal *do*, usando diesis e bimmolli, si avrà la *gamma media,* come qui appresso, che si chiama ancora *cromatica* (2).

(1) Il valore di questo semituono medio è rappresentato dall' equazione $n = \sqrt[12]{2} = 1,05946$; dappoichè moltiplicare un numero qualunque dodici volte di seguito per questa radice, è lo stesso che moltiplicarlo per 2; e per trovarlo col soccorso de' logaritmi, si divide log. 2 per 12, e si cerca a qual numero corrisponde il prodotto.

Così come vedesi nella tabella, facendo il suono fondamentale eguale ad 1, la terza media sarà n^4, cioè *mi*, $= 1,259921$, e la quinta media n^7, cioè *sol* $= 1,498307$, valori, come vedesi, che differiscono poco da $\frac{5}{4} = 1,25$, e $\frac{3}{2} = 1,5$, che rappresentano la *terza* e *quinta* naturali.

(2) In questa tabella segneremo, i diesis con la lettera *d* ed il bimmolle con la lettera *b*.

Numero delle vibrazioni della gamma media.			Lunghezza delle corde che le producono.
Do	=	1 . . .	1
Do^d ovvero *re*^{b}	=	1,059463 . . .	0,943874
Re	=	1,122462 . . .	0,890899
Re^d ovvero mi^b	=	1,189207 . . .	0,840896
Mi	=	1,259921 . . .	0,793700
Fa	=	1,334840 . . .	0,749154
Fa^d ovvero Sol^b	=	1,414213 . . .	0,707107
Sol	=	1,498307 . . .	0,667420
Sol^d ovvero La^b	=	1,587401 . . .	0,629960
La	=	1,681793 . . .	0,694604
La^d ovvero Si	=	1,781797 . . .	0,561231
Si.	=	1,887749 . . .	0,529731
Do$_2$	=	1,000000 . . .	0,500000

67. Le quattro denominazioni Fa^b, Mi^d, Do^b, Si^d non son di uso, perchè esse sono la stessa cosa che *mi*, *fa*, *si*, *do*. *Temperamento*. Tra questi diversi suoni, come vedesi, gli uni sono più alti, gli altri sono più bassi de' suoni della gamma naturale. E servendosi di questa *gamma media*, si chiama quinta di un suono quella che è di sette semituoni più alta; terza se l'intervallo è di quattro semituoni ec. Questa alterazione de' suoni, necessaria a farsi negli strumenti a suono fisso, è poi ciò che dicesi *temperamento*.

Così quantunque uno strumento a suono fisso, come il gravicembalo, l'arpa ec. possa produrre esattamente tutt'i suoni della gamma, o scala musicale, compresivi anche i diesis ed i bimmolli e tutte le ottave di ciascun lato, nondimeno non si perverrà a trovarvi tutte le quinte e le terze esattamente. Per ovviar dunque a questo inconveniente si usano nella musica diversi metodi che diconsi *temperamenti*. Ma viene reputato più semplice ed esatto quello onde dividesi la gamma in 12 semituoni medii eguali, facendo coincidere ciascun suono col semituono vicino. In siffatto modo deve aggiungersi una sola nota; i diesis ed i bimmolli si confondono, e così l'errore, o la differenza, trovandosi ripartita sopra tutte le note, diviene insensibile all'organo dell' udito.

Che se poi segnansi sopra un monocordo le lunghezze delle corde che son nell'ultima colonna, e che lo strumento sia munito di un cavalletto mobile, potranno allora aversi tutt'i suoni di questa gamma media, e così accordarsi uno strumento qualunque, senza produrre all' udito altro accordo che l'unisono, lo che riuscirebbe meno esatto e più difficile farlo praticamente.

I tredici suoni di sopra notati formano una sola ottava, e gli altri potranno trovarsi prendendo tutt' i suoni che sono l' ottava di quelli che vi sono compresi, e l'accordo dell' ottava sarà perfettamente valutato dopo l' unisono come sopra.

Faremo in ultimo notare, che siccome il monocordo è soggetto alle alterazioni atmosferiche, come di caldo e di freddo, di secchezza ancora, e di umidità, esso può servir solo a dare nello stesso mentre un' ottava in cui tutt' i suoni si trovino d'accordo fra essi, perchè potendo variar la lunghezza della corda per le ragioni espresse, non potrà questa dare in modo sicuro gli stessi suoni da un giorno all'altro. Il perchè quando si volesse conservare un suono indefinitamente senza alcuna alterazione, volendo mettere le note di un istrumento sempre esattamente allo stesso tuono in qualunque tempo ed in qualunque luogo che questo si trovi, si fa uso del *diapason*, o corista musicale.

68. *Coesistenza di più suoni.* La simultaneità de' suoni cagiona sovente un fenomeno assai notevole, osservato la prima volta da Tartini. Esso consiste nella produzione di un nuovo suono più grave che ciascuno di essi presi separatamente. Così quando si fa sentire in una volta due suoni forti e continui, dal loro concorso ne risulta un terzo suono più grave di essi. Per comprender questo fenomeno è mestieri ricordarsi, che un suono è prodotto da un seguito di vibrazioni regolari, la cui rapidità determina il suo grado di acutezza. Dal che ne segue, che ogni volta che due suoni battono insieme, le due serie di vibrazioni che ne risultano, coincideranno a certe epoche periodiche, in modo che si formerà una serie di vibrazioni doppie che si succederanno ad eguali intervalli, ma più grandi di quelli delle vibrazioni semplici delle due serie primitive. La sensazione dunque prodotta da questa serie di vibrazioni doppie, sarà un suono continuo, se esse si succedono con rapidità tale da sorpassare il numero di 32 vibrazioni per secondo, perchè al contrario, l' udito avrà la sensazione di ciascuno di essi separatamente, e non vi sarà coesistenza fra i due suoni, cioè suono continuo.

Istrumenti a corde.

69. Si è già esposto §. 49, come il suono varia secondo la lunghezza e tensione delle corde. Quanto alla lor grossezza, essa vi ha ragione sol per il peso maggiore della corda, il quale aumentando come il quadrato de' diametri per le corde omogenee, la durata del tempo delle vibrazioni aumenta nello stesso rapporto, e perciò il numero delle vibrazioni diminuisce in un secondo. Che se poi il peso della corda aumenta, il suono cresce in gravità in un rapporto come quando aumentasse solo nel diametro. Così per avere le corde di budello che producono un suono più grave, conservandone presso a poco il diametro, se ne aumenta il peso avvolgendovi un filo metallico. L'elevazione dunque del suono è in un rapporto inverso della lunghezza

della corda, nel rapporto diretto della radice quadrata del peso che la distende, ed in ragione inversa del peso della corda.

I corpi sonori comunicandosi scambievolmente le vibrazioni che fanno dopo la percossa o il confricamento, sia quando si trovano in contatto, sia coll'intermezzo dell'aria, questo insieme di vibrazioni non altera, ma rinforza il suono che darebbe il corpo vibrante. Il perchè osservasi che tutti gli strumenti a corda son forniti di una cassa risuonante, la quale aggiunge le sue vibrazioni proprie a quelle della corda vibrante che le produce, anche per mezzo dell'aria che racchiude, e così il suono vedesi cresciuto di forza. Fa duopo solo che il legno sia perfettamente secco, ed il più omogeneo possibile perchè l'effetto abbia meglio luogo, e perciò questo dipende più dalla qualità del legno che dalla forma della cassa. Così noi vediamo farsi più sonori gli strumenti di simil fatta dopo un lungo uso, che quando sono nuovi, particolarmente nel violino, in cui richiedesi nel legno della cassa la massima secchezza ed omogeneità possibile, e quando tanto si raggiunge, esso acquista sovente un valore assai più grande, in paragone di quello che ha quando è nuovo.

Le vibrazioni comunicate in siffatto modo da un corpo sonoro all'altro, sia col mezzo delle casse, che dell'aria che li circonda, diviene altrettanto più sensibile, quanto più i due corpi son più valevoli di produrre vibrazioni consimili. Così quando in uno strumento a più corde fisse se ne fa vibrare una, si vedrà che questa mette in vibrazione ogni corda all'unisono; ed al contrario, se le due corde differiscono poco l'una dall'altra, le vibrazioni comunicate alla seconda, saranno impercettibili.

Quando una corda è posta in vibrazione, non solo essa vibra nella totalità della sua lunghezza, ma ancora in ciascuna delle sue metà, terze, quarte, quinte ec., cosicchè il movimento totale della corda deve farsi assai complicato. Nondimeno sappiamo, che queste vibrazioni diverse producono il seguito de' suoni che si son detti *armonici*, cioè quelli rappresentati da' numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5. In questo caso sembra che questi suoni non sono che i primi termini di una serie infinita di altri suoni, dappoichè quando mettesi a lato di una corda vibrante, altre corde che hanno il diametro e la tensione stessa, ma che le loro lunghezze sieno $\frac{1}{2}$ $\frac{1}{3}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{5}$ $\frac{1}{6}$ ec. della prima, si vedrà che esse vibrano nello stesso tempo. Il suono fondamentale si è chiamato *generatore*, e quelli che l'accompagnano si son detti suoni *armonici*. Fra le tante spiegazioni poi proposte per i suoni armonici, quella dedotta da una sperienza di Sauveur pare che meglio convenga. Essa consiste a supporre che nello stesso tempo che una corda vibra in tutta la sua lunghezza in-

torno la sua posizione di equilibrio, ciascuna delle sue parti vibra similmente, senza che le vibrazioni parziali si nuocciano scambievolmente.

Ed in ultimo, se di due corde una non fosse parte aliquota dell' altra, ma invece avessero una comune misura, come p. e. il terzo dell' una fosse il quarto dell' altra, a misura che la prima vibra, il suo terzo vibrerà similmente, e metterà in vibrazione ciascun quarto dell'altra che è all' unisono, e così per per gli altri casi; in modo che la seconda sarà tanto più insensibile alle vibrazioni della prima, quando la loro comune misura sarà più piccola. Così ove una corda fosse i $\frac{59}{100}$ dell' altra, le 59e parti della prima metteranno in vibrazione le 100e dell' altra, e perciò le vibrazioni sarebbero appena avvertite.

Istrumenti a vento.

70. Uno strumento a vento può definirsi una corda o lamina di aria che si fa vibrare nelle canne che la contengono, la quale poi mette in vibrazione l'aria esterna e vi produce un suono, quando ciò succede con bastante celerità. Siffatte vibrazioni posson farsi in tre maniere e con modi differenti, dal che poi risulta la divisione degli strumenti a vento in tre classe distinte, le quali comprendono:

1. Gl' istrumenti che si fanno risuonare soffiandovi per una delle loro estremità, la cui apertura è una continuazione semplice del corpo della canna, e questi sono le *trombette*, i *corni*, le *siringhe* ec.

2. Gli strumenti detti *a bocca*, i quali presentano nell' apertura da cui si fanno risuonare, una disposizione particolare, come il *zufolo*, il *piffero*, il *flauto a becco*, le *canne d'organo*, dette *canne a bocca* ec.

3. Gl' istrumenti a *linguetta*, i quali risuonano per mezzo di una linguetta di metallo, o di ogni altra materia solida elastica, ma in questi le sue vibrazioni si comunicano all' aria e la fanno oscillare; come sono il *clarinetto*, la *cornamusa* o *piva*, le *canne d' organo a linguetta*, le *armoniche a linguetta*, fatte di lamine sottili di metallo che mettonsi in vibrazione da denti particolarmente disposti sopra un asse orizzontale di legno, il quale ha un moto di rotazione con un meccanismo di orologio ec.

In generale negli strumenti a vento le vibrazioni si fanno dall' aria, la quale diviene essa stessa un corpo sonoro, e non dalla sostanza dello strumento, dappoichè ove si facessero dei flauti simili, ma con materie differenti, essi risuonerebbero egualmente. Nondimeno fa uopo notare, che se la natura delle sostanze non vi ha una ragion sensibile, quanto al suono, quella della loro spessezza, o la resistenza delle pareti, contribuisce

non poco ad alterarne gli effetti. Così ove si facessero risuonare canne le cui dimensioni interne fossero le stesse, ma di spessezza differente, come p. e. una canna di legno, un'altra di cartone o di carta, di piombo ec., si troverebbe una grande differenza nella qualità del suono. Ove poi si soffiasse o si spingesse semplicemente una colonna d'aria in una canna, in siffatto modo si produrrebbe solo un movimento nella colonna di aria che essa contiene, e non già un suono, e perciò bisogna eccitare in uno de'suoi punti una successione rapida di condensazioni e dilatazioni alternative perchè si formassero le onde sonore corrispondenti a' suoni che voglionsi produrre.

La velocità di un getto d'aria è vero che può dare i suoni della gamma, ma siccome la colonna di aria che sta nella canna può darne solo un numero limitato, perchè questi si estendano maggiormente, deve proporzionarsi la velocità di una corrente di aria al suono che vuol prodursi. In generale può dirsi, che bisogna uno scolo periodico dell'aria perchè i suoni si formino, ed il grado di velocità onde essa introducesi nelle canne, ne determina dipoi il loro grado.

71. Il modo di vibrazione dell'aria nelle canne è lo stesso di quello delle verghe che vibrano longitudinalmente, perchè anch'essa si divide in una parte condensata ed una parte dilatata, le quali portano ciascuna un nodo alla loro estremità, separato da un ventre in cui le molecole aeree sono in maggiore movimento. Or seguendo la legge delle vibrazioni longitudinali delle verghe, il numero loro è in ragione inversa della lunghezza delle canne di cui son formati gli strumenti; e solo devesi notare, che cambiando la quantità di vento, si apporta un cambiamento nel suo prodotto, il quale per altro è sottoposto a leggi assai semplici. Così in una canna chiusa, perchè questa produca un suono, vi occorrono due condizioni essenziali, cioè, 1. che il fondo della canna sia un nodo di vibrazione in cui le molecole dell'aria rimossa restino immobili; 2. che l'orifizio aperto sia un ventre in cui non succeda cambiamento di densità. Siffatte condizioni posson raggiungersi in più modi, ma tutti debbono effettuare l'esistenza di un nodo nel fondo dello strumento, e quella di un ventre nell'orifizio d'onde l'aria vien posta in vibrazione. Così rappresentando per l'unità il primo suono, si troverà che gli altri seguono la serie de' numeri impari 3, 5, 7, 9, 11, 13, ec.; cosicchè ove suppongasi che il suono fondamentale fosse il *do*, che risulta da 64 vibrazioni per secondo, usando de'diesis, che segneremo con la lettera *d*, si avrebbe la serie seguente:

1 . . .	do . . .	64	vibrazioni
3 . . .	sol^2 . . .	192	
5 . . .	mi^3 . . .	320	
7 . . .	$la^{d\,3}$ . . .	438	
9 . . .	re^4 . . .	576	
11 . . .	$fa^{d\,4}$ . . .	704	
13 . . .	$sol^{d\,4}$ . . .	832	
15 . . .	si^4 . . .	960	

Nelle canne chiuse dunque che danno suono fondamentale, l'onda sonora è doppia della lunghezza della canna, e con ciò, conosciuta questa, il numero delle vibrazioni per il detto suono fondamentale trovasi dividendo la velocità del suono, cioè 337 metri, per la lunghezza doppia della canna. Quando poi la canna dà il secondo suono, l'aria che racchiude si divide in tre colonne che vibrano ciascuna all'unisono, come se la canna avesse solo il terzo della sua lunghezza totale, lo che produce tre volte più di vibrazioni. Per il terzo suono l'aria è divisa in 5 colonne vibranti, e sarebbe pure in 7, 9, 11 ec., nella serie seguente di sopra esposta.

Nelle canne aperte il numero delle vibrazioni è doppio di quello delle canne chiuse della stessa lunghezza, ed il suono fondamentale delle prime è l'ottava delle seconde. La condizione essenziale per aversi un suono perfetto nelle canne aperte è, che vi abbia un ventre in ciascuna estremità. La serie de' suoni che esse danno, forzando l'aria, segue i numeri naturali 1, 2, 3, 4, 5, 6 ec. Così partendo anche dal *do*, come nell'esempio precedente, si avrà:

1 . . .	do . . .	64	vibrazioni
2 . . .	do^2 . . .	128	
3 . . .	sol^2 . . .	192	
4 . . .	do^3 . . .	256	
5 . . .	mi^3 . . .	320	
6 . . .	sol^3 . . .	384	
7 . . .	$la^{d\,3}$ . . .	441	
8 . . .	do^4 . . .	512	

Per trovare la posizione de' nodi nelle canne aperte, vi s'introduce nell'interno una membrana distesa sopra un quadretto, avendovi sparsa sopra alquanta sabbia fina. Quando la membrana è posta in vibrazione dalla colonna di aria che vibra nell'interno della canna, si vedranno i grani di sabbia agitarsi ne' ventri, e fermarsi quando raggiungono un nodo.

La più parte degl'istrumenti a vento consistono in canne aperte nelle due estremità, e la colonna di aria che racchiude si fa variare in lunghezza per mezzo delle aperture laterali che contengono, come nel flauto ec., aprendo le une o le altre secondo i suoni che vogliono aversi. Vi ha inoltre degli stru-

menti, come il *trombone*, ne'quali, per una particolar disposizione della canna, questa si allunga e si accorcia, ed in questi non vi sono aperture laterali. Lo stesso dicasi delle trombette, nelle quali la colonna di aria si accorcia introducendovi più o meno in dentro la mano nella parte più larga.

Le limitazioni di quest' opera non ci permettono esporre quant' altro trovasi più distesamente detto su le vibrazioni dell' aria negli strumenti a vento, e perciò ci siam tenuti a notarne solo le cose essenziali e più generali; ma non possiam dispensarci far osservare alcune specialità che possono in alcun modo alterare i principii generali esposti. Queste sono :

1. Il tuono si abbassa quando la canna si allarga, o che si fa più stretto il suo becco.

2. Le pareti della canna non fanno opera sensibile su la natura del suono quando hanno sufficiente resistenza, ma ove fossero flessibili, come si è detto più sopra, al § 69., il suono abbassa a misura che questa resistenza diminuisce.

3. La natura delle pareti delle canne ha una ragione su la qualità, o metallo del suono, comunque non valga ad alterarne sensibilmente il grado.

4. Nelle canne molto lunghe, il suono è indipendente dalla loro forma, sotto il rispetto della larghezza, ma per le canne corte, la lor forma ha grande efficacia sul suono. Così ove esse fossero cubiche, tetraedre, sferiche ec., darebbero suoni differenti.

5. Per le canne corte della stessa forma, il numero delle vibrazioni è in ragione inversa delle vibrazioni corrispondenti.

6. Le canne rettangolari danno lo stesso suono, indipendentemente dalla loro lunghezza, quando il prodotto dell' altezza per la profondità è lo stesso.

Armonia chimica.

72. Un suono noto a' chimici col nome di *armonia chimica*, e che producesi con la fiammella di gas idrogeno di un apparecchio chiamato *candela filosofica*, e col quale si hanno suoni assai distinti del genere di que' degli strumenti a fiato, sembra che non siasi abbastanza dato ragione del modo come vien prodotto. Questi suoni, secondo la spiegazione che ne dà Chladni, pare che seguano le leggi delle vibrazioni delle canne d'organo, vibrandosi cioè l' aria longitudinalmente per l' azione riunita dalla corrente del gas idrogeno, della fiamma e dell' aria atmosferica che s' insinua impetuosamente di sotto il cannello per riempire il vôto prodotto dall' assorbimento dell' ossigeno che continuatamente serve ad alimentar la fiammella dell' idrogeno. Faraday opinò dopo, doversi derivare que' suoni dalla risonan-

za di una serie non interrotta di esplosioni, e li paragona al rumore che dà la fiamma d'un focolare esposta ad una copiosa corrente di aria (1). De Larive pare che ritenga presso a poco la spiegazione di Cladni, perchè dice, che l'idrogeno bruciando assorbe l'ossigeno dell'aria, lascia un vôto dietro nel quale l'aria si precipita e mette in vibrazione quella che trovasi nella canna. Ma un fenomeno da me più volte osservato, e che ha molta analogia con quello prodotto dalla fiammella d'idrogeno, sembra contribuire a dare al fenomeno tutt'altra spiegazione di quelle enunciate. Così quando si soffia più volte una pallina all'estremità di un cannello di vetro con apertura capillare, per uso di termometro, accade spesso, che trovandosi il vetro troppo rovente, e la capacità della pallina contenere alquanto vapore acquoso proveniente dall'aria de' polmoni, quando più volte ha servita a gonfiarla, si genera allora un suono precisamente simile a quello della candela filosofica, quando produce l'armonia chimica.

Or questo fenomeno sembra non potersi spiegare per effetto del vôto, che anzi nell'interno della pallina vi ha abbastanza fluidi espansibili, cioè l'aria, ed il vapore acquoso. Ma ove si considera che una delle proprietà de' corpi volatili, soprattutto de' liquidi, è, che quando trovansi in contatto di superficie riscaldate al rosso bianco essi non bollono, e conservano il proprio volume, presso a poco come se la temperatura fosse insufficiente per la ebollizione, può da ciò trarsi qualche ragione per la spiegazione del fenomeno dell'armonia chimica. Così dopo una serie di sperienze fatte da Boutigny, ha egli provato che quando si fa cadere a gocce molti liquidi, e particolarmente l'etere solforico e l'acido solforoso anidro, in fondo di un crogiuoletto di platino riscaldato al rosso, invece di vedersi questi cambiati in vapori, si rappigliano in globetti sferici solidi mobilissimi, e quel che più reca maraviglia, e che non si può spiegare è, che questi globetti divengono in ultimo solidi, e fatti cader su la mano cagionano freddo come la neve. Boutigny ha chiamato, quantunque impropriamente, *calefazione* tal fenomeno, e da esso ha dedotto un quarto stato de' corpi, cioè lo *sferoidale*, oltre il solido, liquido, e gassoso già ritenuti (2).

Or da tutto ciò pare potersi dedurre, che il suono della pallina da termometro potrebbe dipendere da questo stato sferoidale del vapore acquoso, la cui mobilità e solidità de' globetti così calefatti, deve cagionare vibrazioni nella sostanza sonora del vetro, e da queste all'aria, e così prodursi il suono. L'aria in tal caso, essendo troppo dilatata, sembra aver poca par-

(1) *Journ. de Phys.* t. 88. p. 56.
(2) Boutigny, *Base d' une nouvelle Physique* ec. Évreux, 1842.

te alla produzione del suono, e perciò si è fatto derivar più dal vapore acquoso che dall'aria, o dalla rientrata di essa; dappoichè il suono è forte sino che la pallina è rovente quasi al bianco, ed appena comincia a divenire rosso-scura, il suono a poco a poco si estingue. Il fenomeno dunque dell'armonia chimica potrebbe avere la stessa spiegazione, perchè a misura che per la combustione dell' idrogeno l' aria si scompone, formasi vapore acquoso, il quale trovasi in contatto della stessa superficie rovente della estremità del cannello ove sta la fiamma, e perciò la calefazione di esso può succedere allo stesso modo che avviene nella pallina da termometro. Il prolungamento in giù della fiammella, e la cessazione del suono quando cresce la quantità di vapore acquoso nell'intorno delle pareti che circondano la fiamma, sembra che concorrono ad appoggiare la così data spiegazione del fenomeno. Che se si volesse non ritenere la calefazione del vapore acquoso, rimarrebbe sempre più ad esso il potere vibrante, che alla sola rientrata dell'aria per il voto prodotto, potendo le molecole sferoidali del vapore cagionare una ripercussione non interrotta su le pareti del cannello che serve alla produzione del suono, e da questa comunicarsi dipoi le vibrazioni all'aria ec.

Organo della voce, sue imitazioni.

73. L'organo della voce dell'uomo si compone: 1. de'polmoni che racchiudono l' aria e da cui vien cacciata fuora a ciascuna espirazione; 2. di un condotto cilindrico situato nell' estremità superiore de'polmoni, che serve di canale di scolo dell'aria, del quale la parte superiore dicesi *laringe*, e la inferiore *asperarteria*, e più comunemente *trachea*, che serve di portavento, e si compone di anelli cartilaginosi alternantisi con anelli membranosi flessibili, onde si possono discretamente allargare e distendere : la trachea dividesi in due rami che si dicon *bronchi*, i quali comunicano direttamente con i polmoni; 3. di un'apertura chiamata *glottide*, che è posta nell' estremità superiore della laringe, ed è limitata da due ligamenti o laminette rettangolari che si chiamano *corde vocali*, e queste son fissate per la lor base su le pareti della laringe a piccola distanza l'una dall' altra; in modo che quest'intervallo offre un'apertura alquanto stretta per la quale l'aria è obbligata uscirne prima di arrivar nella bocca, ed allora essa mette in vibrazione le due corde vocali e produce la voce; 4. di una membrana piatta ed elastica che dicesi *epiglottide*, ed è presso a poco simile ad una lingua. Essa è fissata per la sua base su l'orlo superiore della laringe, e può prendere su la glottide tutte le inclinazioni possibili; 5. dell' ultima parte dell'organo vocale, cioè il *condotto di scolo* dell' aria, che si compone delle fauci, della bocca, e delle fosse nasali.

La conformazione così espressa dell' organo vocale, ha fatto credere ad alcuni potersi esso assimilare ad uno strumento a corda, ma l' opinione più generalmente ricevuta è che esso ha più rapporto con gli strumenti a linguetta libera, imperocchè l' uffizio delle diverse parti pare che riducesi a questo : il petto serve di soffietto, la trachea di portavento, la glottide con le corde vocali di linguetta, e la bocca di condotto di scolo dell' aria vibrante.

La colonna di aria che esce per la glottide, quantunque conservi una lunghezza costante, può nondimeno vibrare all'unisono, perchè la elasticità delle pareti della laringe permette di ricevere ogni grado di tensione, quando si avvicinano ovvero che si allontanano le labbra a volontà per aprire o chiudere il condotto vocale. Ciò viene rifermato dalle sperienze di Savart, il quale adoperando una canna della stessa lunghezza e dimensione del condotto vocale, capace di una tensione variabile in una parte della sua estensione, ne ebbe col mezzo di un portavento da organi de' suoni che comprendevano nella scala musicale lo stesso spazio della voce umana.

74. L'organo della voce degli altri animali dotati di polmoni è conformato presso a poco come quello dell' uomo. La differenza principale che vi si osserva, sta nella posizione e nella forma della glottide. Così negli uccelli questa è posta in generale nella parte inferiore della trachea, quasi prossima all' uscita da' polmoni ; il perchè di quelli che più stridono, come ha osservato Cuvier in un canarino, quando lor si tronca il collo vicino al busto, essi continuan pure per qualche istante a gridar forte. Ne' rettili la glottide trovasi alla estremità superiore del condotto vocale ; ma tanto in questi che ne' mammiferi, vi ha una sola glottide o linguetta, la qual è situata nel luogo ove la trachea pon confine nella bocca; e perciò il meccanismo della loro voce si produce nello stesso modo che nell' uomo, a differenza che questo, mediante la intelligenza spirituale, la flessibilità maggiore delle sue labbra, e la mobilità della lingua, non che le modificazioni che può a volontà portar nella bocca, si rende abile di una varietà di articolazioni, che una organizzazione ed intelligenza meno perfetta negli animali impedisce di uguagliare. Da ultimo, la contrattilità della trachea degli uccelli, essendo maggiore di quella de' mammiferi, consente ch' e' producono maggior numero di suoni più in più acuti degli ultimi.

La estensione della voce ne' diversi uomini, dalla più grave alla più acuta, comprende circa tre ottave, ma le voci più estese d' ordinario ne sorpassano appena due quando voglion fare un suono pieno e perfetto. Così la voce più grave del maschio va comunemente dal *sol*, al fa_3, chiamando *do* il *do* del violino, o il suono fondamentale di una canna chiusa lunga 4

piedi. E la voce più alta della femmina, va comunemente dal re_3 al la_4, ma sovente giuuge al do_4ed anche sino al *mi*. In generale le voci delle femine e de'ragazzi son più acute di quelle degli uomini adulti, perchè le laminette della glottide de' primi sono proporzionatamente più corte. Le quali negli uomiui, crescon subito dopo i 15 a'16 anni, ed acquistano in poco tempo una lunghezza quasi doppia di prima; il perchè in tal età cominciasi ad osservare un cambiamento nella voce che si fa più grave. Quanto al volume assoluto di essa, dipende, in ciascuna persona, dalla spessezza delle labbra della linguetta, e dalla forza delle potenze aspiratrici su l'aria espirata.

Una pruova che la voce formasi nella laringe è, che le persone che hanno la trachea aperta, non posson più parlare, ma riacquistano in qualche modo tal facoltà comprimendo la gola in direzione dell' apertura ond' esce l'aria discacciata da' polmoni. Le persone al contrario che hanno forato il canale che comunica dal petto alla bocca al disopra della glottide, continuano a formare de'suoni. Ed in ultimo quando si soffia l'aria nella trachea di un animale testè morto, si avranno de'suoni quasi simili a quelli che esso facea vivente. Biot ha fatto questa sperienza sopra la laringe di un porco, adattando la trachea di esso ad un portavento di un soffietto d'organo, e serrando con la mano la parte della trachea ove era la glottide quando l' aria ne usciva, e così pervenne a modificare il suono in modo da imitare il grugnire che fa in vita. Lo stesso Biot, dopo queste sperienze, fece costruire direttamente una specie di glottide artificiale con laminette di gomma elastica, ed avendola similmente attaccata ad un portavento di un soffietto di organo, come aveva fatto per quella naturale, ne ottenne pure diversi suoni.

75. I cacciatori, per imitar la voce degli uccelli, adoperano un piccolo strumento nel quale la velocità del vento che passa per due piccole aperture circolari di rincontro, ha molta efficacia sul suono. Questo strumento, che spesso varia nella forma, consiste in un piccolo tamburo basso, i cui fondi superiore ed inferiore son forati nella stessa direzione. Il suono è prodotto per ispirazione dell' aria di fuori; ed ove questi zufoli si fissino sopra un portavento, potranno aversi tutt' i suoni compresi in una a due ottave, ed anche moderando convenevolmente il vento, può prodursi suoni così gravi, che acuti. In questi strumenti, il diametro de' due fori ha molta opera su la gravità o acutezza de' suoni prodotti con la stessa velocità del vento.

Savart spiega nel modo seguente la produzione del suono in questi strumenti. La corrente di aria che traversa i due orifizii trascina con essa una parte di quella contenuta nella cavità del tamburo, ed in tal guisa la sua forza elastica trovasi diminuita, e perciò non può fare più equilibrio con la pressione ester-

na dell' atmosfera, la quale sopr' essa, la respinge, e conseguentemente la comprime sino a che, per la propria sua elasticità e per l'opera della corrente di aria che continuatamente viene da fuora, essa soffre una novella rarefazione seguita da altra condensazione, e così di seguito. Il perchè queste alternazioni succedendo con bastante rapidità, debbono originare onde, che si diffondono nell' aria esteriore, e così produrre un determinato suono. Perciò in questi strumenti la natura e spessezza delle loro pareti deve avere una grande opera su la qualità ed acutezza del suono, almeno quando esse sono sottili e meglio elastiche. Deduce quindi Savart da tali considerazioni una identità di questi apparecchi con quello che produce la voce umana, ed ha potuto ancora provar con reiterate sperienze, che una canna della stessa dimensione del condotto vocale, e capace di una tensione variabile in una parte della sua estensione, rendeva un gran numero di suoni distinti, i quali prendevano nella scala musicale lo stesso spazio di quello della voce umana. Ma Cagniard de Latour col mezzo della sua sirena ha potuto spingere assai più innanzi i suoni prodotti dalla voce dell'uomo.

Le fauci, la bocca, e le fosse nasali, che tutte unite compongono il condotto di scolo dell' aria, han grande efficacia su la qualità, o metallo di voce. Così ove le fosse nasali venissero ostrutte al punto da non dar più libero passaggio all'aria, la voce prenderebbe un metallo, o qualità particolare, ed allora dicesi comunemente che si *parla col naso;* ma ciò è un errore, perocchè in tal caso succede solo che non si parla, o che la voce non esce anche dal naso; e per provarlo, basta, nello stato sano del naso, comprimere con le dita le narici sino a chiudere perfettamente le fosse nasali per vedere che la voce riprende la qualità primitiva.

Dell' organo dell' udito.

76. L' organo dell' udito, detto ancora *organo acustico*, offre nella totalità delle sue parti una descrizione abbastanza complicata, che non potrebbe intendersi senza le compiute conoscenze notomiche di quest'organo. Laonde tenendoci a' termini di questo trattato, ed al soggetto percui ne diamo conoscenza, noteremo solo quelle parti che han più correlazione con le funzioni loro alla percezion de' suoni.

In quest' organo sono a considerarsi tre porzioni distinte, cioè il *padiglione* o *conca* col meato uditivo, la *cassa del timpano*, il *labirinto*.

Il *padiglione* è prodotto da una membrana cartilaginea ripiegata in varia guisa da formare rilievi ed avvallamenti, i quali per l' uffizio e per la forma fanno assai somigliarlo a' cornetti acustici.

E difatti, ne'quadrupedi, in cui questa membrana è più lunga e mobile, osservasi che essi ne dirigono l' apertura dal lato d'onde viene il suono che vogliono ascoltare. Così ancora l' animale che fugge la dirige di dietro, e quello che inseguisce l'altro animale la porta tesa avanti. Il padiglione, che forma l'esterno dell' orecchio, va a poco a poco sempre più stringendosi sino al meato uditivo, il quale è unto di una materia viscosa che sembra destinata ad impedire l'entrata di corpi estranei: questo canale termina obliquamente con fondo cieco nella membrana del timpano.

77. *Cassa del timpano.* È separata dal canale uditivo per mezzo della membrana del timpano. In essa debbonsi notare alcune cose importanti, tra cui principalmente la membrana del timpano, i quattro ossetti disposti in forma di catena, che per una analogia di forma si son detti *martello, incudine, osso lenticolare, staffa*; la *fenestra ovale* e la *fenestra rotonda*, e la *tromba di Eustachio*. La membrana del timpano è fibrosa, resistente, elastica, di figura quasi circolare, fermata in un solco scavato circolarmente nell'estremo interno del canale uditivo. Nel mezzo della membrana prende inserzione il manubrio del martello, il quale con la incudine, coll' osso lenticolare, e con la staffa che si appoggia contro la fenestra ovale, costituisce la catena delle ossicine, che si estende dalla membrana del timpano sino alla membrana del forame ovale che corrisponde al vestibolo. I tre muscoli del martello operando su la catena delle ossicine, volgono la loro azione su la membrana del timpano, e la tendono o la allentano: il muscolo della staffa sembra destinato a premere la base contro la fenestra ovale, la quale consiste in un' apertura posta nella parete interna della cassa del timpano, chiusa da una membrana, e che mette comunicazione direttamente nel vestibolo. Avvi ancora la fenestra rotonda, di forma piuttosto irregolare, che è chiusa similmente da una membrana sottile, e corrisponde alla base della rampa interna della lumaca. Nell'estremo anteriore della cassa del timpano vedesi la estremità timpanica della tromba di Eustachio, la quale con l'altro estremo si apre nella sommità della faringe, e stabilisce così un canale di comunicazione tra l'aria esterna e quella della cassa del timpano. Tutta la cavità del timpano è vestita di una sottilissima membrana mucosa, che è manifestamente una continuazione ed una modificazione della mucosa gutturale.

78. *Labirinto.* È la parte più importante dell' udito, dove si trova quella che è destinata esclusivamente alla percezione delle onde sonore. Si compone questo del *vestibolo*, e de' *canali semicircolari* della lumaca. Il vestibolo è una cavità ossea quasi ovale, dove possono notarsi l' apertura della fenestra ovale, quella della rampa esterna della lumaca, e le cinque aperture dei

tre canali semicircolari. Questi escono dal vestibolo, girano per un arco più o meno esteso ed irregolare, e tornano nuovamente al vestibolo; e perchè gli estremi interni de' due canali verticali si congiungono in un solo, prima di penetrare nel vestibolo, i sei estremi de' tre canali finiscono in cinque aperture. La *chiocciola* o *lumaca*, è un canale avvolto a spira intorno un asse, e forma due giri e mezzo di spirale, da imitar perfettamente il guscio di una lumaca, da cui ha tratto il nome.

Il canale per opera di un sepimento metà osseo, metà membranoso, ma fragilissimo, separa il canale in due rampe, che nella sommità comunicano fra loro: la rampa interna finisce nella fenestra rotonda, e la esterna sbocca nel vestibolo. Il vestibolo poi, con i canali semicircolari, e le rampe della lumaca, chiudono nelle lor cavità una membrana modellata esattamente su di esse, ma solo un poco più piccola, in guisa che il condotto membranoso è compreso nell'osseo, ma ne resta alquanto discostato. Nella cavità tra le pareti ossee del laberinto e la membrana anzidetta, e nella stessa cavità della membrana, trovasi sparsa copiosamente la linfa di Cotugno; e su la membrana nuotante in questa linfa, si distribuisce nelle sue innumerevoli ramificazioni il *nervo acustico*, così per la lumaca, come pe' canali semicircolari e per lo vestibolo.

Così descritte le parti essenziali dell'organo dell'udito, volendo i fisici ed i fisiologi dare una qualche spiegazione su le funzioni che esse esercitano nella percezione de' suoni, si sono avvisati considerarle or sotto uno, or sotto un altro aspetto, e pare che quanto siasi finora fatto sul proposito, offre ancora molte lacune difficili a potersi riempire. Così sappiamo solo, che le ondulazioni sonore che vengono di fuori, non oltrepassano la membrana del timpano, e perciò credesi essere essa destinata a riceverle e trasmetterle nella cassa sottoposta, al che dà appoggio la sua struttura elastica che la rende propria a tale funzione. Ma ignorasi poi qual parte prenda a questa trasmissione del suono la catena delle ossicine, quale quella della lumaca, de' canali semicircolari, e del laberinto. Siffatte quistioni, e tante altre che possono proporsi sopra tal intricato soggetto, sembrano ancora avvolte in un mistero. E perciò sappiamo appena, che quando anche la membrana del timpano e la catena delle ossicine venissero alterate, sino ad un certo limite, non pertanto il rimanente dell'organo dell'udito non cessa dal percipire i diversi suoni; e supposta ancora la membrana del timpano capace di una tensione convenevole, potrebbe entrare in vibrazione sempre quando un'onda sonora venisse a percuoterla, dappoichè se più onde sonore operassero in una volta sopra quella membrana, potrebbe essa mettersi all'unisono con ciascuna onda nello stesso modo che opera una membrana

inerte. Da ultimo, dopo le sperienze di Savart, reiterate e confermate da quelle di Muller, sembra potersi dedurre, quantunque sino ad un certo limite, che la catena delle ossicine potrebbe servire tutto al più a far variare il grado di tensione della membrana del timpano. Eglino hanno ciò dedotto dall' avere osservato, che facendo uso di una cornetta acustica chiusa nella estremità da una membrana, quando facevasi variar la tensione di quest'ultima, si aveva aumentata o diminuita la intensità del suono. Ma comunque sarebbe questa una funzione a cui dovrebbe effettivamente prender parte la catena delle ossicine, non basterebbe ciò a rimuovere altri dubbii su la sua alterazione la quale, come è noto, poco contribuisce a diminuirne gli effetti; nè su la forma di quella catena e su le altre funzioni a cui potrebbe avere riguardo.

CAPITOLO II.

FLUIDI IMPONDERABILI

Nozioni generali

79. Nelle proprietà generali e particolari de' corpi che si sono esaminati nel primo volume di questo Trattato, ci è stato facile verificarle e suggettarle a diversi metodi di calcolo e di analisi. Quelli che ora imprenderemo a trattare potranno somministrarci anche gli stessi risultamenti, ma essi sono invisibili, incoercibili, impalpabili, e simili in questo alla cagione ignota dell' attrazione. Or se noi per tener dietro a' tanti fenomeni che ci dimostrano, dobbiamo ammettere l'esistenza di fluidi particolari, perchè ciò che opera, ciò che resiste, ciò che rimbalza o si riflette, ciò che passa attraverso i corpi, ciò che camina con velocità grandissima, deve certamente esser qualche cosa materiale o al più modificazione di materia, perchè essi penetrano, si fermano su la superficie della maggior parte de' corpi, e con la massima velocità passano anche pel vôto più perfetto. E non appena ci persuadiamo ammettere la loro esistenza come materia, troviamo che la impenetrabilità, e la gravità sopratutto sono ancor di ostacolo per ammetterne la materialità, perchè non abbiamo alcun mezzo sperimentale a scoprire in essi cosiffatte proprietà. Ma se la natura di loro è tale che non possiamo paragonarli ad alcuno de' corpi ponderabili, non pertanto il potere di essi ed i tanto variati fenomeni che presentano sono così manifesti, che non possiamo in alcun modo negare una *causa*, qualunque la nostra immaginazione ci potrà sospingere a creare. E perciò dovendo convenire, che codesti *fluidi imponderabili*, debbono assolutamente comporsi di molecole eminentemente elastiche, tenuissime, ed

or dotate di potere attrattivo, ora ripulsivo, con tale supposizione riesce men difficile spiegare gli effetti che producono, e come essi non oppongono, secondo i calcoli astronomici, ostacolo al moto de' corpi celesti in quegli spazii, ove non può esistervi alcuna sorte di materia ponderabile.

80. Si sono chiamati dunque *agenti* o *fluidi imponderabili*, e non *materie* o *corpi*, il *calorico*, la *luce*, l'*elettrico* ed il *magnetico*. Dovendo il peso far parte essenziale della materia e de' corpi, e non essendosi esso potuto provar in alcun modo ne' quattro agenti indicati, questa condizione, voluta indispensabile da' fisici, ha fatto dividerli in varie opinioni quanto alla natura di que' fluidi, i quali perciò si son detti da alcuni *imponderabili*, e da altri *agenti naturali*. Ma se tali difficoltà essi presentano relativamente al peso, gli effetti che producono sono nondimeno assai sensibili, e le leggi cui ubbidiscono niente lasciano a desiderare perchè possa attestarsene la esistenza, o una cagione da cui questi effetti emanano. Se dunque le difficoltà per ammettere la loro materialità derivano presso alcuni solo dalla mancanza di peso, queste sono del pari comuni a tutti gli altri corpi ponderabili, ove si portino a uno stato di divisione tale, in cui le migliori bilance non risentono il peso di minime particelle. Così l' aria troppo dilatata, ovvero fatta odorosa col muschio o altre materie aromatiche, nel primo caso diverrebbe anch' essa imponderabile, e nel secondo, quantunque fattasi fortemente odorosa, non peserebbe più che quando fosse priva di odore, perchè la sua densità non viene così punto cresciuta. Ed ove riflettasi che la impossibilità di pesar tali fluidi deriva ancora dalla impossibilità di chiuderli o contenerli ne' vasi, per la cui *facoltà* si sono detti *fluidi incoercibili*, senza divagarci in mere ipotesi, ove si volesse considerarli come corpi, diremmo soltanto, che la estrema leggerezza di essi superando la troppo limitata sensibilità delle migliori bilance, è cagione delle difficoltà incontrate, quando dal peso volesse solamente desumersi la materialità loro.

Ma codesti ragionamenti non valgono a far motivo in ingegni troppo sottili, perchè questi rispondono, che que' corpi estremamente divisi che non possono pesarsi, quando sono in quantità più sensibili si pesano facilmente; lo che non succede mai per i quattro fluidi imponderabili. Ed ancorchè a tale objezione si rispondesse, che la natura ci presenta gradazioni infinite di densità ne' corpi tutti, cominciando dall' idrogeno che è il più leggero, e giugnendo al platino che è il più pesante, ed in conseguenza, ove si ammettessero come corpi que' fluidi, essi sarebbero, per la leggerezza, collocati tutto al più assai innanzi lo stesso idrogeno; anche questi ragionamenti non basterebbero per imporne a quegl' ingegni. Se dunque l' essenza della causa

degli effetti che essi producono è ancora un mistero, le loro proprietà nondimeno sono abbastanza provate ed abilmente applicate a' progressi delle scienze fisiche ed a' bisogni della vita; e perciò contenendosi altri fisici a codesti effetti, per ovviare ogni altra discussione dicono essi che potrebbero considerarsene le cause come forze naturali de' corpi da cui quelli emanano, solo perchè più con le forze che con i corpi dicono poter noi paragonare gl'imponderabili, per i quali si è perciò ritenuta la denominazione di *agenti*, in vece di *corpi* imponderabili.

81. Pur non sono queste le sole difficoltà che presentano codesti imponderabili; perchè quantunque sembrasse poter l'uno andar dall'altro disgiunto, nondimeno la identità di effetti che presenta la luce col calorico, e l'elettrico col magnetico, farebbe ridurre a due solamente i quattro fluidi indicati. Ma osservando che il magnetico è una modificazione dell'elettrico, e questo capace di operar come forza universale, perchè esso apparisce con effetti ora di calorico, ora di luce, ora cagiona azioni attrattive, ed ora ripulsive, si potrebbe dedurne che questi fluidi imponderabili, o queste volute forze naturali, dovessero provenir tutti da una stessa sorgente, la quale ora si ridurrebbe all'antico *etere* di Eulero e di Cartesio, modificato differentemente, e personificato poi nello stesso elettrico. Ma che mai sarebbe in essenza questo elettrico? Noi lo definimmo *agente proteiforme* al §. 69. del 1.° volume di questo trattato, ed i tanti variati fenomeni che esso addimostra, e le innumerevoli scoperte fatte a' dì nostri, che hanno tanto contribuito all'incremento della *fisico-chimica* soprattutto, non han dato sinora campo a riunirli tutti in una legge generale; e solo si è ritenuto da alcuni esser l'elettrico un fluido particolare, da altri composto di due fluidi diversi, e più recentemente Grove ha dedotto da alcune sue sperienze non potersi l'elettrico considerare un fluido specifico, ma una modificazione (e potrà essere un moto di azione) della materia, e che ogni fenomeno elettrico non è che un cangiamento intermolecolare, e ciò sempre affin di dare in qualche modo ragione di codesti così svariati effetti. Ma supposto per poco che si pervenisse a scoprire essere una la causa degli effetti luminosi, calorifici, elettrici, e magnetici, vi sarebbe mai una fisica, ovvero una fisico-chimica in cui venissero essi cancellati, e compresi sotto un sol nome? Se vi ha in loro identità per alcuni effetti identici che producono, non serba poi ciascuno uno o più caratteri specifici, che almeno in apparenza fan differirli essenzialmente? I fenomeni del calorico oscuro, de' raggi luminosi non calorifici, quelli dell'elettrico simulato che non si manifesta che dietro azioni meccaniche o chimiche, le quali se cessano, l'elettrico diviene di bel nuovo latente o simulato; ed il

magnetico che una volta renduto libero vi perdura nelle calamite sino a quando queste non soggiacciano ad ossidazione compiuta ; come il difficile passar dell' elettrico pe' corpi coibenti, ed il passar che fa facilmente il magnetico per questi stessi corpi ; non potrebbe ciò bastare a far differire in alcune parti tali agenti imponderabili, senza perdersi tanto nelle vaghe ipotesi per sostener la identità di essi e respingerne ogni idea di una materialità assoluta ? Egli è vero che ne' raggi che provengono dal sole la luce va sempre unita al calorico ; ma è vero altresì che la luce che manifestasi da corpi in combustione, sembra che lasci il calorico a poca distanza, ed i soli raggi luminosi pervengono immensamente più lontani senza calorico sensibile ai migliori strumenti che la fisica possiede. Che se a tale osservazione si risponda, che i raggi calorifici si disperdono allontanandosi nello spazio, dovendo ubbidire alla legge dell' equilibrio, allora ne seguirebbe una decisa differenza fra luce e calorico, e si direbbe che tanto dal sole che dai corpi in combustione si emananino raggi luminosi e calorifici, e che i primi non soffrono altro che una diminuzione d'intensità secondo i quadrati delle distanze, ed i secondi seguono la legge dell' equilibrio a cui il calorico è sottoposto (1); ed in conseguenza ammesso il calorico e la luce provenire dalla differenza d' intensità di ondulazione dell' etere, dovrebbe per tal moto assumersi due leggi ; una dell' equilibrio per gli effetti calorifici, che è una progressione geometrica, ed un' altra de' quadrati delle distanze per gli effetti luminosi, che è una serie decrescente secondo la suddetta legge ; lo che forse potrebbe menare a difficoltà grandissime per poterle ritenere in una maniera positiva. Qui non occorre ripetere ciò che altri han detto su i raggi della luna in confronto di quelli del sole, perchè quando anche si dicesse che quei raggi sono *riflessi*, e che la massa della luna ne ritiene i raggi calorifici, o che ne assorbe più di questi che de' luminosi, si avrebbe invece un altro argomento in favore della differenza de' due fluidi, vale a dire che ne' raggi del sole vi sono raggi lucidi indipendenti da' raggi calorifici, come quelli che producono le azioni chimiche, il colore ne' corpi ec. E perciò que' fisici che considerano il calorico e la luce come due fluidi distinti, lo deducono non solo dal che pretendono potersi separare, e che l' effetto del raggiamento negli specchi

(1) Quantunque la legge dell' equilibrio andasse soggetta a molte restrizioni, perchè essa può verificarsi, come diremo a suo luogo, solo nelle verghe metalliche le meglio omogenee, come quelle di oro, di argento, di rame puro ec. nondimeno le differenze che presentano i corpi privi di una sufficiente omogeneità, possono derivare da una irregolare disposizione molecolare in que' corpi, come succede pel centro di gravità nelle bilance, il quale in meccanica sta costantemente nella metà di una linea sopposta senza peso, ma in fisica essa è più prossima dal lato della massa maggiore.

concavi può aversi anche adoperando il calorico oscuro dell'acqua bollente; ma sibene dal potersi aver luce senza calorico dalla fosforescenza di molti corpi, dal confricamento di due pezzi di quarzo ec., e che i raggi della luna concentrati comunque con le migliori lenti o specchi concavi, non producono il menomo indizio di effetti calorifici ai migliori termometri.

82. I partigiani dell'identità de'due fluidi rispondono a queste obiezioni facendo osservare, che la maggior parte de' raggi della luna sono assorbiti dal vetro; e che quelli che vi si concentrano al suo fuoco sono così deboli da non produrre alcun' azione sui termometri anche più sensibili. Ma tali ragionamenti sono presso altri fisici anche poco esatti, giacchè essi dicono può stare che questo pianeta assorba più raggi calorifici che lucidi; e supponendo ancora che la totalità de' raggi solari che cadono su la Luna sia riflessa, la loro intensità per la superficie terrestre è secondo Bouguer 300,000 volte minore di quella de' raggi solari; e se è dimostrato dall' esperienza, che l' intensità reale della luce lunare, stà a quella del sole nel rapporto di uno a 300,000, allora ancorchè questi raggi venissero concentrati dalle migliori lenti, non potrebbero produrre il più piccolo effetto sui termometri ordinarii. Ma se si ammettesse che tutta quella massa della luna la quale viene rischiarata da' raggi del sole, ritenga i raggi calorifici e ne rimandi i luminosi, in tal caso, conservando essi la più tenue quantità di calorico rimpetto ai primi, non potrebbe questo fluido concentrarsi, qualunque si fossero i mezzi che si potrebbero adoperare; ed in tal modo il fenomeno sarebbe più conciliabile per coloro che negano l'identità de' due fluidi.

Queste osservazioni sono divenute ora insussistenti dopo che Melloni ha di recente provato, che i raggi lunari concentrati con una lente, fatta da lui costruire dopo il principio di quelle adoperate da Fresnel, e di un diametro poco più di un metro, mostrano effetti calorifici assai sensibili non solo al termomoltiplicatore, ma ancora allo stesso termometro differenziale di Leslie. La sola mancanza o disposizione de' mezzi, aveva potuto sostenere sinora le esposte objezioni, per farle valere onde ritenere una decisa differenza fra calorico e luce.

83. Ma la serie così numerosa de' nuovi fatti aggiunti a quelli conosciuti sopra gli effetti de' quattro agenti imponderabili, ci mena ora a considerazioni assai più rilevanti per meglio desumerne una identità di causa, la quale prima era mera supposizione. E difatti, le importanti sperienze di Young, quelle di Fresnel, e Arago provano ora abbastanza esser la luce un prodotto delle vibrazioni dell' etere, ed i raggi calorifici e chimici che l'accompagnano, avendo anch' essi la medesima origine, debbono seguir le stesse leggi. I fenomeni del calorico e quelli dei

raggi chimici sarebbero, quanto a questa ipotesi, analoghi a quelli del suono; perchè gli effetti del calorico radiante che innalza la temperatura del corpo su cui cade, e quelli dei raggi chimici che lo alterano, si somigliano alla scossa di una corda quando il suono di un' altra che è all' unisono con essa si propaga nell' aria. Le reiterate e più decisive sperienze di Melloni hanno non solo più ampiamente rifermata la ipotesi dell' etere, ma provato in un modo incontestabile la identità delle radiazioni delle sorgenti terrestri con quelle che provengono dal sole; perchè ogni radiazione terrestre lucida, o calorifica, si compone di elementi più o men copiosi e varii di costituzione affatto simile a' raggi solari. E perciò ritenendosi alla identità della luce col calorico, il Melloni ha provato provenir essi dallo stesso principio, qual' è l'etere, a cui debbonsi ora accagionare i raggi lucidi, calorifici e chimici, cioè quelli che producono il chiarore, il calore e certe mutazioni chimiche; il perchè le stesse onde eteree, contenendo questi diversi elementi, producono i tre effetti, i quali costituiscono il *principio d'identità de' tre agenti*, stabilito dal Melloni, essendone le proprietà di essere più o meno trasmissibili, diffusi ed assorbiti da una stessa sostanza, i veri caratteri delle diverse sorti di raggi, e comuni tanto a' luminosi che oscuri, ritenendo la facoltà d' illuminare come manifestazione *secondaria* di alcuni elementi dello spettro, la quale è subordinata alla costituzione del nostro occhio, che non è atto a percepire le onde troppo ampie, o troppo minute, come avviene similmente rispetto all' udito quanto al suono. La visibilità e l' invisibilità, come la colorazione di alcune specie di raggi, essendo effetti dipendenti dall' organismo animale, e potendo talora derivar da uno stesso raggio che opera sopra diversi individui, come si vedrà in seguito, non possono considerarsi proprietà della radiazione, dappoichè i raggi resterebbero ciò che sono, cioè semplici moti ondulatorii dell' etere universale, ove non vi fossero individui forniti di occhi; allo stesso modo che le onde sonore quando questi mancassero di orecchie, perche resterebbero anch' esse moti ondulatorii dell' aria vibrata da' corpi sonori. Ed in ultimo, riportando ad un' identità di causa il calorico e la luce, onde paragonar la teorica di questa a quella del suono, fa duopo solo ritenere, che per quest' ultimo, le particelle dell' aria rimossa da' corpi sonori si *avanzano* e *retrocedono*, formando onde di *condensazione* e di *rarefazione*, ed in quella dell' etere, le particelle di queste egualmente rimosse dai corpi luminosi o riscaldati, si debbono supporre *tremare lateralmente*, ed operare per *impulsioni successive*, o *impulsivamente*.

CAPITOLO III.

DEL CALORICO E DEL CALORE.

84. Dicesi *calorico* la *causa* o il *principio* emanato o vibrato dai corpi che risveglia in noi la sensazione del *calore*, e quest' ultimo sarebbe semplicemente l' *effetto* di tal causa. La sensazione del calore si produce a contatto de' corpi più caldi di noi, o a distanze più o meno sensibili. E se nell' accostarci ad un corpo in combustione, proviamo tale sensazione senza toccarlo, egli è naturale che non è la materia del carbone, nè quella del sole, che separandosi a guisa delle materie aromatiche cade sopra i nostri sensi come materia calorifica che da quell' astro o da quei corpi si emana, e ci riscalda o fa veder gli oggetti che ci circondano; ma invece essa è, nel sistema dell' *emissione* una materia calorifica particolare che da que' corpi o dal sole si emana, e nell'altro sistema dell'*ondulazione* esso è un fluido *etereo*, o un *agente* che stà fuora del corpo, e ne viene da questo posto in moto, e per mezzo del suo moto ondulatorio o tremulo, operando sopra i nostri organi, ci cagiona ora la sensazione del calore, ora quella della visione. Quest' agente che prima dicevasi, quanto al calorico, *fluido igneo*, *materia* o *principio* del fuoco, è appunto quello che ebbe il nome di *calorico*, ed a cui sovente, quantunque arbitrariamente, viene sostituito quello di *calore*.

Ipotesi su la natura del calorico — Considerato il calorico come il principio elementare del fuoco, fu dopo da Aristotile ammesso essere una *qualita* o un *accidente* che riunisce le cose omogenee e separa quelle che sono eterogenee. Ma questa ipotesi venne combattuta dagli Epicurei, i quali sostenendo quella dei *corpuscoli*, riguardarono il calorico come un potere essenziale, o una qualità del fuoco, o meglio come una materia volatile ridotta in atomi o corpuscoli che si emanavano dal fuoco.

Homberg, Lemery, Sgravesande, e soprattutto Boerhave, considerarono il fuoco un corpo originario, o *sui generis*, che non poteva cioè cambiar mai natura, e che i suoi effetti erano il calorico e la luce. L' opinione di Bacone, di Boyle e di Newton differiva essenzialmente dalle precedenti, perchè secondo essi il calorico non era una proprietà inerente a' corpi, ma una proprietà che poteva esservi sviluppata meccanicamente. Questa opinione intanto differiva poco da quella di Cartesio e dei suoi seguaci, perchè secondo essi il calorico consisteva in un certo movimento delle diverse parti del corpo.

Posta così in dubio la esistenza di una materia calorifica isolata, si cercò provar che i fenomeni prodotti dal calorico, dovevano ripetersi ad un moto vibratorio o intestino della materia

ordinaria. E Davy che ne divenne il più caldo partigiano, ignorando quando si è dopo scoperto per attribuire all'etere anche i fenomeni del calorico, ne previde sotto altro aspetto l'identità della causa con i fenomeni luminosi. Egli disse che per spiegare tutt' i fenomeni del calore, può supporsi che ne' corpi solidi le particelle della materia si trovino in uno stato di continuo movimento vibratorio; che quelle dei corpi più caldi però si muovono con maggiore celerità ed attraverso spazii più grandi; che ne' liquidi e ne' fluidi elastici, oltre il movimento vibratorio, che deve essere considerato come il più grande in questi ultimi corpi, le molecole hanno un movimento intorno il loro proprio asse, con gradi differenti di velocità; che le molecole de' fluidi elastici si muovono con la più grande velocità; e che ne' fluidi eterei le particelle si muovono parimenti attorno il loro proprio asse e separatamente le une dalle altre in linea retta, attraverso lo spazio. Si può ritenere, che la temperatura dipenda dalla celerità delle vibrazioni, e l'accrescimento di capacità dal movimento che si eseguisce in uno spazio più grande. Così la diminuzione della temperatura nella conversione de' solidi in liquidi o in gas, si può spiegare dietro l'idea della perdita del movimento vibratorio prodotto dalla rivoluzione delle particelle attorno i loro assi, al momento in cui il corpo diviene liquido o aeriforme; ovvero dietro l'idea delle perdite di celerità nelle vibrazioni in conseguenza del movimento delle particelle negli spazii più grandi. Or se a questa ipotesi aggiungasi l'esistenza dell'etere negli spazii intermolecolari de' corpi, si avrebbe il moto di esso cagionato dalle vibrazioni della materia elastica ponderabile, e la ragione del passaggio dell'etere vibrato fuori i corpi pe' quali poi passa attraverso gli stessi spazii intermolecolari e cagiona i fenomeni di conducibilità ec.

85. Considerato da altri il calorico come il principio del fuoco, è la causa che produce in noi la sensazione del calore, e l'agente il più importante che opera infiniti mutamenti tanto nella natura, che nelle arti, negli usi della vita, e nella riproduzione e sostentamento de' corpi organici. Così ammesso ipoteticamente come una materia *sui generis*, esso è di una tenuità estrema; dilata più o meno i corpi, perchè le sue particelle sono dotate di potere ripulsivo definito, e per la sua distribuzione in quantità diverse nella materia ponderabile ne modifica la coesione, e ne conserva o cambia la densità de' corpi.

86. Altri fisici considerarono il calorico come un fluido generalmente sparso nella natura, le cui molecole muovonsi in tutt' i sensi indifferentemente; molto sottile, invisibile, imponderabile, eminentemente elastico e ripulsivo nelle sue molecole, che tende a distribuirsi eguabilmente in tutti i corpi, producendo in noi le note sensazioni di caldo e di freddo; dilatando

sempre que' corpi ne' quali ne aumenta la naturale loro temperatura. Fra le ragioni che costoro adducono, onde provare l'esistenza di una materia calorifica che opera i fenomeni del calore, vi ha specialmente quella che riguarda il passaggio dei raggi calorifici attraverso il vôto, ma essi non han riflettuto che la fisica sperimentale non conosce ancora il modo da produrre il vôto assoluto, e perciò anche in quello che diciamo Torricelliano, che si considera il migliore, deve esservi ancora altra materia elastica, quantunque estremamente attenuata.

87. Ed in ultimo, coloro che hanno ritenuta la esistenza di una materia calorifica onde spiegare i fenomeni del calorico, aggiungono, doversi considerare il calorico un fluido particolare senza peso, incoercibile, il quale quando si accumola ne' corpi li dilata e ne aumenta la temperatura. Le particelle allora della materia calorifica perchè dotate di potere ripulsivo, si respingono con una forza che decresce rapidamente a misura che la distanza aumenta. In questa supposizione, ciascuna molecola materiale di un corpo consisterebbe nella materia ponderabile, e nel calorico, e perciò due molecole vicine debbono attirarsi per la loro materia pesante e respingersi pel calorico, non essendovi equilibrio di temperatura se non quando le distanze delle molecole sono tali, che le due azioni si distruggono, cioè si fanno esse stesse equilibrio. Ma con ciò non può provarsi uno stato di riposo assoluto, dappoichè nel caso di aumento di temperatura, una molecola che si portasse nella sfera di azione delle molecole vicine, dovrebbe perdere ad ogn' istante, per effetto della loro forza ripulsiva, una porzione di materia calorifica, la quale sospinta in tutt' i sensi, sarebbe assorbita subito dopo dalle molecole della materia pesante in cui s' imbatte; il che deve cagionare una emissione continua di calorico, la quale a misura che ne aumenta la sua quantità, la ripulsione calorifica si accresce similmente, e nello stesso tempo quella dell' emissione del calorico. Il contrario deve poi avvenire, ove la temperatura scemasse ne' corpi.

Ipotesi dell' emissione e delle ondulazioni.

88. Quantunque si fosse da molto tempo creduto ad una identità del calorico con la luce, perchè i due agenti si trovano uniti ne' raggi solari, e nelle radiazioni del fuoco di cui ne formano una parte de' suoi effetti, nondimeno prima della scoperta delle leggi del calorico raggiante, e quella della polarizzazione dei raggi calorifici, ammessa prima da Bérard, poi posta in dubbio da Powel, da Nobili, e dopo rifermata da Forbes, ed in ispecialità da Melloni, non si era giunti a fissar con fatti positivi l'identità di questi effetti come dipendenti da causa identica.

Questa opinione è stata dopo sempre più convalidata dalle sperienze di Young, di Fresnel, Arago, Forbes, e più decisamente da quelle di Melloni, che ne ha meglio fissata la identità de' due fluidi.

I fenomeni dunque delle radiazioni colorifiche, essendo dipendenti da una medesima causa, cioè dall' *etere*, ammesso da Cartesio, debbono avere la stessa legge, o splegarsi con la medesima ipotesi. Perciò de' due sistemi intentati per ispiegare i fenomeni luminosi, quello cioè di Newton, detto dell' *emissione*, e l' altro di Cartesio, conosciuto ora col nome di sistema delle *ondulazioni*, quantunque l' ultimo soddisfi meglio a spiegar tanto i fenomeni delle radiazioni luminose che calorifiche, il sistema dell' emissione può in molti casi supplire a dar sufficiente ragione degli stessi fenomeni.

Così delle due ipotesi, in quella dell'*emissione*, riguardasi il calorico come una materia sottile, imponderabile che si emana da un corpo all' altro con una velocità comparabile a quella della luce, ed il calorico che trovasi allo stato di combinazione ne' corpi, scappa fuora di questi per la loro superficie, in forma di raggi i quali, ove nell' attraversare i fluidi elastici s' imbattano in un corpo solido, ovvero liquido, nel mentre che una gran parte ne è riflessa, l' altra che viene ritenuta o assorbita, perde la sua natura raggiante, e produce i fenomeni, di dilatazione, di conducibilità ec. Nella ipotesi poi dell' *ondulazione*, si suppone in tutte le parti de' corpi caldi de' moti oscillatorii o *tremuli*, ne' quali l' ampiezza è piccolissima e la velocità estremamente grande, quantunque potessero variar fra i limlti assai estesi. Cotesti moti si propagano attraverso un mezzo che si è detto *etere*, come quelli del suono attraverso l' aria o de' corpi elastici. L' etere poi esisterebbe dappertutto, ed anche nel vôto e negli spazii intermolecolari de' corpi ponderabili, potendo le molecole ricevere e comunicare i moti vibratorii allo stesso etere. In tal supposizione, il fluido etereo non è trasportato dal corpo caldo al corpo freddo, ma esso trasmette solamente il moto vibratorio del quale la variabile sua intensità costituisce poi la quantità di calorico. Così le vibrazioni calorifiche dell' etere, sono analoghe alle vibrazioni tanto dell' aria che degli altri fluidi e de' corpi elastici nella produzione del suono, dovendosi solo riguardarle come infinitamente piu corte e più rapide. Questo sistema, che venne dapprima adottato per la spiegazione de' fenomeni luminosi, e che serve ora a spiegare anche la più parte de' fenomeni prodotti dal calorico, per distinguerli, si è detto da alcuni *sistema delle onde luminose* il primo, è *sistema delle onde calorifiche* il secondo.

89. Delle due ipotesi intanto, comunque si adottasse or l' una dall' altra disgiunta, ed or si fosse detto, che restando

le stesse le leggi della luce, come Newton le aveva prima fissate, non dovesse mutarsi altro che l' *essenza della causa*, cioè che invece di ritener, come è detto nel sistema dell' emissione, che dal sole e da' corpi in combustione si emani una materia reale calorifica e luminosa, si dirà in quello delle ondulazioni, che tal materia esiste nello spazio intermolecolare dei corpi, ed in quello che li circonda; e che tanto il sole che gli astri, ed i corpi caldi, e que' in combustione mettano in moto vibratorio cotesto etere mercè le azioni meccaniche o chimiche, e dal moto più o meno variato ne resultino le sensazioni di caldo e di chiarore; ma nonostante le scoperte fatte sinora su le radiazioni calorifiche e luminose, esse hanno disvelate invece non poche difficoltà perchè si potesse difinitivamente ritener l'una o l'altra delle due ipotesi. Così ammesso nella ipotesi dell'emissione, che una molecola calorifica può, come quella luminosa, esser trasportata a 70000 leghe d' intervallo in un secondo di tempo, ed in quello dell' ondulazione non è che un moto vibratorio che si trasmette all' etere dalla materia ponderabile eccitato con i mezzi fisici, meccanici e chimici, con la medesima velocità, ne segue che nella teorica fisica del calorico, la ipotesi dell' etere sembra non soddisfare ancora a tutte le spiegazioni de' fatti che vi hanno rapporto; e quella dell' emissione di una materia reale calorifica, quantunque in apparenza più semplice, è poi in opposizione con più fatti rigorosamente osservati quanto alla polarizzazione ed alla diffusione de' raggi calorifici, e perciò si è stati costretti ricorrere al sistema delle onde per darne una più soddisfacente esplicazione.

90. Nella difficoltà dunque di togliere ogni ostacolo all'ammissione definitiva dell'una o dell'altra ipotesi, sino che il complesso delle tanto penose e decisive sperienze di Melloni non vengono ordinate sotto un corpo di dottrina, in modo da poterne tirare una legge generale il più possibile esente da altre objezioni, lo che ora sta facendo Melloni stesso, che è il solo da cui noi dobbiamo attenderla, ripeteremo ciò che abbiam detto nel primo volume di questo trattato, vale a dire, che una teorica fisica non essendo altra cosa che un modo ingegnoso di spiegar que' fenomeni che sembrano avere una origine comune, dovrà ritenersi quella che presenta meno objezioni, o che ne spiega meglio un maggior numero. E perciò, per dare ragione e comprovare le proprietà ed i fenomeni tutti che si attengono al calorico, non essendo duopo assolutamente adottare una idea particolare su la sua natura, potremo limitarci alla sposizione semplice di queste proprietà e di questi fatti come ora sonosi osservati, qualunque ne fosse l' essenza della causa che li produce. Tenendoci dunque a queste considerazioni, e dando quanto è possibile maggiore estensione all' applicazione della teorica delle ondu-

lazioni, perchè non può considerarsi logico l' adottar contemporaneamente due ipotesi per dare ragione degli stessi fenomeni, noi faremo vedere come il fenomeno osservato può con l' una e con l' altra egualmente spiegarsi, notando ove l' ipotesi dell' *emissione* non può bastare alla spiegazione di altri fatti, al che poi si vedrà che l' altra può più ampiamente, e con maggiore facilità disvolgerli.

Ed in ultimo, continuando a ritenere che per *quantità* di calorico vogliamo intendere l' energia o la intensità della causa o dell' agente ignoto che cagiona i mutamenti di densità e di stato de' corpi ponderabili, questa quantità, nel sistema dell' emissione, è la massa del calorico, ed in quello dell' ondulazione è la quantità o grandezza di forza viva de' moti propagati, o il quadrato delle ampiezze delle vibrazioni. E ravvicinando così or l' uno or l' altro modo di spiegare i fenomeni che il calorico produce su i nostri organi e su la materia bruta, noi daremo ragione della sensazione di caldo e di freddo, e di quanto altro si attiene a' fatti sinora osservati.

CAPITOLO IV.

PROPAGAZIONE DEL CALORE.

91. Quando più corpi differentemente riscaldati si son posti in contatto ovvero ad una certa distanza, dovendo essi tendere ad un equilibrio generale di temperatura, ecciteranno moti vibratorii molecolari, i quali si comunicano all' etere interposto, o al complesso dell' etere e della materia ponderabile che costituisce i corpi, e ciò in proporzione che gli uni saranno più caldi degli altri, sino che il movimento o la radiazione del calorico cessi, e che il termometro li dinoti tutti allo stesso grado di temperatura dell' ambiente in cui si trovano.

Consideriamo ora due o più corpi alla stessa temperatura, la loro radiazione non cessa, ma ciascuno di essi continua ad emettere o radiare calorico, ed a riceverne da corpi circostanti. Il calorico emesso trovasi compensato a ciascun istante dal calorico ricevuto, e se il corpo ne emette molto, ne assorbe anche molto, e ne rimanda pochi de' raggi che riceve; se ne emette poco, ne riflette dippiù, e l' assorbimento è debole. Dal rapporto di codesti cambiamenti ne risulta quell' eguaglianza di temperatura, che Prevost ha chiamato *Equilibrio mobile del calorico*.

Per comprender l' *equilibrio mobile* di temperatura, supponghiamo un circuito chiuso in cui tutt' i punti posseggono allo stesso grado le tre potenze, cioè raggianti, assorbenti e riflettenti. Essendo la temperatura esteriore del circuito mantenuta

ad un grado invariabile qualunque, dovrà, a capo di certo tempo, trovarsi la superficie interna alla stessa temperatura, e per conseguenza l'equilibrio di temperatura devesi spandere in tutta l'estensione del circuito, qualunque ne fosse la sua grandezza. Ma quantunque la temperatura sia fissa, o che l'equilibrio sussista, nondimeno il calorico deve esservi in movimento, dappoichè la superficie interna del circuito chiuso, conservando ancora la sua facoltà raggiante, deve ciascuno de' suoi punti emettere raggi calorifici in tutt' i sensi, e riceverne egualmente da ogni lato, e perciò il calorico dovrà trovarsi in continuo movimento. Questa nuova ipotesi, che costituisce il principio *dell' equilibrio mobile di temperatura*, e nel quale è ritenuto, che un corpo qualunque raggia costantemente calorico in tutt' i sensi, e ne riceve nello stesso mentre da' corpi circostanti, qualunque si fosse la sua temperatura, così definito rigorosamente da Fourier, e dichiarato nelle opere sul calore di de Laplace e Poisson, ha potuto esso solo dare ragione di tutt' i fatti relativi al calorico raggiante. La ipotesi dunque ammessa prima da Prevost, quella cioè « che la superficie interna di un circuito chiuso, avendo perduta la sua facoltà raggiante, non poteva ciascuno de' suoi punti nè emettere, nè ricevere calorico, e perciò quello che vi si trovava doveva permanere in uno stato d'immobilità perfetta, cioè di *equilibrio stabile* » non poteva dare alcuna ragione de' tanti fenomeni appartenenti al calorico radiante, e perciò venne dopo abbandonata.

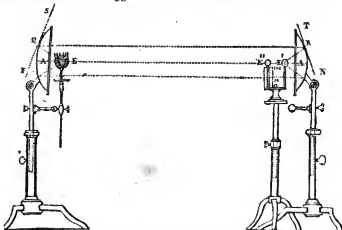
92. La propagazione del calorico può succedere per *irradiazione* e per *contatto*. Nel primo caso dicesi *calorico radiante*, nel secondo *calorico condotto*. Nella propagazione per *contatto*, i corpi più caldi perdono calorico per comunicazione immediata con i più freddi che li toccano in qualche punto, e successivamente da strato a stráto sino a' più lontani; nella propagazione a *distanza*, essi lo perdono immediatamente per irradiazione, vibrandolo su i corpi, e nello spazio circostante.

In quest' ultimo caso il calorico radiante somministra ora alla *Pirodinamica* i migliori esempii del calorico in moto, e porge a' partigiani dell' identità della luce col calorico la più convincente pruova che i raggi calorifici seguono le stesse leggi de' raggi luminosi, allorchè si riflettono su le superficie levigate e ben terse, si rifrangono, si diffondono, e si polarizzano.

93. Ogni punto di un corpo caldo può considerarsi come centro donde partono infiniti raggi calorifici, e se esso fosse rovente, ovvero in combustione, è allora centro di raggi calorifici e luminosi, i quali poi tutti vanno per linee rette divergendo dal punto caldo o luminoso in ogni direzione, scemando nella intensità in ragione inversa del quadrato della distanza.

Nell' ipotesi dell' *emissione*, il punto caldo sarebbe centro

di emanazione di una materia reale calorifica, o di effluvii di corpicciuoli calorifici infinitamente piccoli ed imponderabili, che traversano liberamente l'aria ed anche il vuoto, con quella stessa prodigiosa velocità degli efflussi luminosi, i quali percorrono 340,000 miglia in un secondo. Nel sistema poi delle *ondulazioni* il punto caldo o luminoso diverrebbe, come si è detto antecedentemente, centro di scuotimento della materia eterea in cui si suppone immerso, o che lo circonda, e ne riempie i suoi spazii intermolecolari. Ma tanto nell'uno quanto nell'altro sistema, devesi necessariamente ammettere che un raggio di calorico si muova come un raggio di luce, cioè in linea retta; che il raggio incidente e quello rifratto, sono tutti due compresi su lo stesso piano perpendicolare al piano riflettente (ove la superficie fosse curva, la riflessione avverrebbe perpendicolarmente al piano tangente del punto d'incidenza), e che l'angolo d'incidenza è sempre eguale all'angolo di riflessione. L'effetto ha luogo tanto nell'aria che nel vuoto, ma sempre che i corpi siano ad una temperatura differente; perchè dovendo i più caldi ceder calorico a' più freddi, ne segue, che per la tendenza che hanno all'equilibrio di temperatura, deve il calorico passare da' primi a' secondi. Che se poi il corpo caldo fosse posto in uno spazio vuoto, allora i raggi calorifici passando da questo nell'aria, come succede del calore solare, produrrebbero sempre il medesimo effetto; potendo bensì l'aria diminuirne la intensità, non già alterar menomamente la legge del loro movimento in linea retta.



94. De Sausurre e Pictet provarono i primi che la riflessione de' raggi calorifici seguiva la legge accennata, che è la stessa de' raggi luminosi, cioè quella di *catottrica*. Essi adopera-

rono a tal uopo due specchi con cavità paraboliche, disponendoli uno dirimpetto all'altro, come si vedono nella figura, mettendo nel foco E dell'uno di essi una palla di ferro quasi rovente, e nel foco E′ dell'altro una delle due palle del termometro differenziale di Leslie, disponendo l'altra E″ fuori del foco dello specchio, ma sulla linea $a\ a'$, che congiunge gli assi de' due specchi. Stando così nella direzione di questa retta le due sfere dello strumento termoscopico, essi videro all'istante camminare il liquido nello strumento dal verso della sfera E″, che era più vicina alla sorgente calorifica. E portando dipoi successivamente la palla E′ alquanto più prossimamente al corpo caldo, non ebbero nessuno effetto su lo strumento. Il perchè dedussero, che trovandosi nel foco E′ il massimo di temperatura, dovevano di conseguenza tutt'i raggi inviati dal corpo caldo riflettersi prima su lo specchio più vicino, ed uscirne in fascio paralleli all'asse $a\ a'$, e pervenuti nell'altro specchio riflettervisi similmente, per riunirsi poi tutti nel punto E′ che n'è il foco. Ora il calcolo dimostra, che ciò non può succedere, eccetto che il calorico non si muova in linea retta, e non si rifletta su ogni elemento degli specchi, formando, come la luce, l'angolo di riflessione eguale all'angolo d'incidenza.

Da quanto precede può dedursi, che il corpo caldo che sta nel foco dello specchio tramanda raggi per tutte le rette che posson tirarsi da esso; che quelli i quali s'imbattono su la superficie della cavità parabolica dello specchio che ad essi è prossima, son tutti in fascio riflessi paralleli all'asse aa'. Or supposto in questo caso un sol raggio EQ, esso farà con la tangente SF, condotta sul punto Q su cui cade, l'angolo di riflessione SQR eguale a quello d'incidenza FQE; ma poichè per la legge premessa, imbattendosi esso nella superficie dell'altro specchio, deve similmente riflettersi sul punto R, farà, con la tangente TN condotta su questo punto, un angolo di riflessione QRE′ eguale all'angolo d'incidenza QRT.

95. Il movimento de' raggi calorifici è, come quello de' raggi luminosi, indipendente dal movimento più o meno rapido dell'aria che attraversano, e questi raggi si muovono con una velocità grandissima. E difatti, ove si metta un diaframma per intercettar la comunicazione calorifica con lo strumento termoscopico, non appena quello vien tolto, che l'effetto su lo strumento avrà prontamente luogo. Che se poi si agiti comunque l'aria interposta sul passaggio della radiazione, col mezzo di una ventola, l'azione sul termometro ha luogo nello stesso modo come quando l'aria è tranquilla.

Adoperando carboni accesi invece della palla riscaldata, e situando un pezzo di esca o altro corpo infiammabile nel foco

ove era il termometro, potrà allora accendersi que' corpi, e l' effetto avrà luogo dalla parte opposta alla sorgente del calorico, come quando si opera con i raggi solari. Che se poi a quelle sorgenti si sostituisca l' acqua o l' olio bollenti, o qualunque altro corpo che abbia una temperatura maggiore dell' ambiente, si avrà ancora l'effetto su lo strumento termoscopico, a differenza solo di una minore elevazione di temperatura. In quest' ultimo caso il termometro deve avere una palla di diametro assai notabile, ed un cannello con apertura abbastanza capillare perchè fosse più sensibile alle piccole variazioni di temperatura; o meglio potrebbe adoperarsi il termomoltiplicatore di Melloni che descriveremo più innanzi. Occorre inoltre notare, che la posizione del foco de' raggi riflessi può variare con la posizione della sorgente che irraggia calorico, con la estensione e col grado di curva della superficie riflettente, come meglio esporremo nella riflessione de' raggi luminosi, cioè nella *cotottrica*; essendo sempre il grado d'intensità del calorico riflesso tanto maggiore quanto più la superficie riflettente è opaca, levigata, e ben tersa.

Trasmessione de' raggi calorifici attraverso i corpi solidi.

96. Il calorico radiante non solo passa per l'aria e per gli altri fluidi aeriformi, ed anche pel vuoto, ma attraversa ancora facilmente i corpi solidi trasparenti, come il vetro, alcuni sali, il cristallo di rocca ec., perdendo una porzione della sua intensità calorifica, che è quella che impiegasi a riscaldare il corpo pel quale passa. Laroche fece molte ricerche per determinare la quantità di calorico che passa attraverso i corpi suddetti, che egli adoperava in lamine di varia grossezza, usandole come diaframmi, cioè come mezzi da intercettare il cammino dei raggi nell'aria. Da varie sue sperienze potè dedurne, che quando la sorgente del calorico non è superiore alla temperatura dell' acqua bollente, i raggi calorifici si trasmettono appena, o quasi niente nella parte opposta del diaframma di vetro, comunque sottile si adoperi, ma ogni volta che la temperatura aumenta da questo grado successivamente, la quantità di calorico trasmesso da'diaframmi aumenta similmente. Così situando Laroche un corpo caldo ad una certa distanza di un termoscopio sensibilissimo, ne osservava le sue indicazioni quando ne riceveva su la palla dello strumento direttamente i raggi emessi dal corpo caldo, e quando essi erano obbligati attraversar prima una lamina di vetro innanzi di giungere su lo strumento termoscopico. Ma perchè in questo caso una parte dell' effetto doveva derivar dal raggiamento proprio del vetro, per conoscere tale azione, Laroche covriva prima una faccia del diaframma ch' era rimpet-

to al corpo caldo col nerofumo. Ecco i principali risultamenti di queste sperienze :

Temperatura del corpo.	Effetto nell'arie	Effetto col diaframma trasparente.	Effetto col diaframma annerito.	Differenza.	Rapporto.
182°. . .	3°, 94. .	0°, 22. .	0°, 07. .	0°, 15.	$\frac{1}{26}$
346°. . .	16°, 33. .	1°, 36. .	0°, 17. .	1 , 19.	$\frac{1}{14}$
960 . . .	38°, 97. .	11°, 83. .	0°, 43. .	11 , 43.	$\frac{1}{3}$

La quarta colonna rappresenta l' effetto prodotto in ciascuna sperienza dal raggiamento del diaframma ; l' effetto reale prodotto per la trasmissione è la differenza della terza e della quarta colonna. Così stando la temperatura a + 182°, passa attraverso il diaframma di vetro appena $\frac{1}{25}$ della quantità di calorico che vi arriverebbe direttamente ; ma quando la temperatura della sorgente è portata a 960°, una terza parte di questa quantità passa attraverso il diaframma.

Osservò ancora Laroche, che il calorico che ha attraversato una lamina di vetro, nel passare per una seconda, soffre una perdita proporzionatamente minore. Così avendo egli interposto un diaframma di vetro fra un corpo caldo e la palla del termoscopio, e segnato il rapporto fra il calorico trasmesso ed il calorico totale, che era $\frac{1}{8}$, interponendovi un secondo diaframma della stessa sostanza, questo rapporto diveniva $\frac{1}{16}$.

Comparazione delle potenze emissive o radianti, assorbenti e riflettenti delle diverse sostanze.

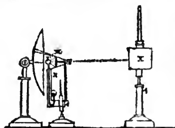
97. Nella emissione e riflessione del calorico raggiante vi ha non solo ragione la distanza, l' inclinazione, la forma e la estensione della superficie raggiante, assorbente e riflettente ; ma bensì la natura de' corpi, la densità e la levigatezza, scabrosità ed elasticità della loro superficie. Così quando la superficie di uno specchio di metallo è coverta dal nerofumo, e che al suo foco si ponga lo strumento termoscopico, avverrà, che de' raggi calorifici che vi cadono, la maggior parte saranno assorbiti, e pochi riflessi regolarmente. In questo caso lo specchio si riscalda ; lo che non succede quando la sua superficie è levigata e ben tersa, perchè essa conserva presso a poco la temperatura primitiva, per esserne quasi tutt' i raggi che vi cadono riflessi.

Le prime conoscenze su l' efficacia delle superficie de' diversi corpi nell' emettere o assorbire i raggi calorifici incidenti, pare che si debbano a Scheéle. Avendo egli posto uno specchio metallico concavo con superficie tersa e levigata vicino l' apertura

di un focolare ove eravi una vivissima fiamma, osservò che lo specchio non era sensibilmente riscaldato, e perciò ne dedusse dovere esso rimandare tutto il calorico che arrivava alla sua superficie. Ma covertane dipoi la superficie con nerofumo, vide lo specchio riscaldarsi fortemente, ed al punto da non potervi tenere impunemente la mano nella parte convessa.

Dopo queste prime osservazioni, Leslie e Rumford ne intrapresero altre di maggiore importanza, le quali arricchirono bentosto la fisica di gran numero di scoperte, ed aprirono agli altri fisici la via di meglio progredire in siffatte ricerche.

Leslie adoperò il primo un processo assai semplice per trovare la potenza raggiante de' differenti corpi. Egli procurò raccogliere su la concavità di uno specchio metallico il calorico emesso da un corpo caldo portato a differenti temperature, servendosi di acqua riscaldata a 94°, con cui ne riempiva il cubo di latta che vedi qui sotto, tenendovi immerso un termometro a mercurio per conoscerne la costante temperatura nei confronti che voleva farne. Al centro di una delle facce del cubo, nella direzione dell' asse dello specchio concavo, posto a 3 piedi distante, metteva nel suo foco F′ la palla del termometro differenziale; e presentando dopo successivamente le diverse facce del cubo, le quali erano, una levigata e ben tersa, una scabra, una coverta con carta fissatavi con colla, ed un'altra annerita col nerofumo, riempendo in ogni volta il cubo con acqua alla stessa temperatura, pervenne così a determinare la diversa potenza radiante de' corpi adoperati.



Per conoscere Leslie l'effetto della varia natura de' corpi nella riflessione del calorico, interpose fra la sorgente e lo specchio le piastre delle differenti sostanze, così che i raggi si trovassero riflessi in un punto in F′, più prossimo dello specchio, la cui distanza alla piastra MN era eguale alla distanza del foco F alla stessa piastra. Situando allora il bulbo del termometro differenziale in F′, le sue indicazioni crescevano col potere riflettente della piastra MN.

In queste sperienze Leslie non omise tener conto delle circostanze che potevano aver opera ad alterare i risultamenti. Fatta attenzione su i mutamenti di temperatura del mezzo in cui operava, trovò che questi non potevano avervi alcuna parte sensibile, dovendo essi aver la stessa azione su le due palline dello strumento termoscopico. Ma non trovò egli lo stesso, quanto alla

durata dell'esperienza, perchè occorreva sempre un dato tempo sino che la temperatura della pallina focale divenisse costante, dovendo essa ricever tanto calorico per quanto ne perdeva, per essere il calorico emesso dalla faccia del cubo proporzionale all'eccesso di temperatura della pallina focale su la temperatura del mezzo in cui era. Inoltre la sostanza dello specchio, e l'aria prossima anche ad esso, assorbiscono una certa quantità di calorico; ma come questa è appena rilevante, e sensibilmente proporzionale a quella emessa dalla superficie dello specchio, può trascurarsi ne' risultamenti ottenuti.

Operando Leslie dietro queste considerazioni, quando toglieva il diaframma onde intercettava il passaggio dei raggi calorifici su lo specchio, vedeva subito abbassarsi la colonna liquida nel termometro dal lato della pallina focale, e tale abbassamento variava con la temperatura, e colla qualità del corpo radiante. Quanto poi alle perdite di calorico sofferte dallo strumento, esse sono, giusta la legge del raffreddamento, sensibilmente proporzionali alle quantità di calorico che la pallina focale riceve dalla faccia del cubo. E poichè a temperatura eguale, a superficie e distanze eguali, gli effetti prodotti sono fra essi proporzionali a' poteri emissivi, così il rapporto degli eccessi di temperatura dati dalle facce differenti del cubo, deve essere esattamente il rapporto de' loro poteri emissivi.

Leslie osservò dopo, che quando la grossezza di uno strato di colla che metteva sopra una faccia del cubo, era = 1, l'innalzamento di temperatura giungeva sino a + 38°, e quando si faceva 4 volte maggiore, era di + 54.° L'effetto aumentava sino ad 8 strati, dopo de' quali la soprapposizione degli altri strati non produceva più alcun aumento sensibile. Così Leslie da queste ed altre sperienze fatte su gli effetti radianti di certi corpi, ed a determinate grossezze distesi su le facce del cubo, pervenne a segnare le seguenti potenze emissive o radianti col mezzo del suo termometro differenziale:

Potenza radiante del

Nerofumo	100	Colla di pesce	80
Carta da scrivere	98	Piombagine	75
Pece resina	96	Lamina di piombo	19
Cera di Spagna	95	Mercurio	20
Ghiaccio	90	Ferro pulito	15
Inchiostro della China	88	Foglia di stagno	12
Minio	80	Oro, argento, rame	12

Quanto poi alla potenza riflettente de' metalli, Leslie ebbe i seguenti rapporti:

Ottone	100	Acciaro	70
Argento	90	Piombo	60
Stagno	80	Vetro	10

E perciò egli dedusse, che gli specchi concavi di ottone dovevano riflettere più calorico che quelli di argento ; questi più degli specchi di stagno ec. La qualità dunque della superficie ne' diversi corpi, determina la quantità di calorico emesso o radiato, e riflesso. Così covrendo la superficie netta di uno specchio con uno strato assai sottile di colla, la potenza riflettente trovasi subito diminuita, ed essa continua a decrescere coll' apporvi altri strati di colla ; ma poco dopo si arriva al suo limite. Ciò conferma la opinione di Rumford, quella cioè che gli strati inferiori possono sino ad una certa profondità radiare una data porzione del calore acquistato, perchè non appena oltrepassata questa, l' effetto è nullo. Fatti analoghi si riproducono nel potere emissivo, poichè basta annerire una superficie metallica col nerofumo per darle una potenza radiante $=100$.

98. La potenza assorbente dunque, dopo quanto si è premesso, è nella ragion diretta della potenza emissiva ed assorbente, ed essa appartiene a tutt' i corpi. Per provarlo basta covrire la palla del termometro con diverse sostanze, perchè allor si vedrà che lo strumento dinota sempre un assorbimento di calorico radiato o emesso da una sorgente calorifica qualunque. Ma deve notarsi, che della quantità di calorico che cade su la superficie di un corpo, una parte solamente ne viene assorbita e l'altra n'è riflessa, e che il calorico assorbito è poi quello che riscalda il corpo. La potenza riflettente dunque, è sempre in ragione inversa della potenza assorbente, e radiante, perchè fra i raggi che cadono su la superficie de' corpi, ne saranno più riflessi per quanto questa ne avrà meno assorbiti; e perciò i raggi riflessi non potranno aver parte al riscaldamento de' corpi.

Esperienze analoghe indussero Rumford ad ammettere che la potenza emissiva o radiante ed assorbente, aumenta col crescere, quantunque sino ad un limite assai ristretto, la scabrosità della superficie, e scema coll' aumentarne la levigatezza e la nettezza; al contrario la potenza riflettente cresce con la levigatezza e scema con la scabrosità delle stesse superficie ; e perciò conchiuse, doversi ripetere dallo stato di scabrosità o lucentezza delle superficie la quantità di calorico emesso, assorbito, e riflesso.

99. Dietro questi diversi effetti si spiegano alcuni fenomeni assai volgari. Così quando due vasi pieni di acqua e della stessa capacità, uno di metallo terso, l' altro di argilla cotta, si tengono ad egual distanza dal fuoco, si vedrà il primo riscaldarsi appena e lentamente, perchè dotata la sua superficie di maggiore potenza riflettente che assorbente, e l' ultimo che assorbe più calorico di quello che ne respinge, si riscalderà più prontamente e ad un grado maggiore nello stesso intervallo di tempo. E supposti i due vasi pieni di acqua bollente, si vedrà quella

contenuta nel vaso di argilla raffreddarsi assai prima dell' altra racchiusa nel vaso di metallo, e ciò perchè quest' ultimo emette come assorbisce meno calorico del primo.

Producendo poi, come osserva Rumford, i raggi calorifici gli stessi effetti de' raggi luminosi, quanto a' diversi colori, queste stesse potenze mostrano ancora i corpi bianchi, neri, rossi, o di altri colori. Così osserviamo d'ordinario dar la preferenza agli abiti bianchi nella state, ed a' neri nell' inverno. E per la stessa ragione gli abitanti delle alte montagne, come quelli della Svizzera soprattutto, spargono una terra nera su la neve per accrescere l'assorbimento de' raggi calorifici, ed accelerarne la fusione, e ciò affin di anticipare il lavoro delle terre sottoposte, e la semina di cui abbisognano. E di fatti, ove sopra la neve si ponessero due falde di panno, una nera e l'altra bianca, a poca distanza, e sotto l' opera della radiazion solare, si vedrebbe poco dopo fusa la neve sotto la falda nera, e restarsi integra la neve sottoposta alla falda bianca. Lo stesso osservasi colorando diversamente i due bulbi del termometro differenziale, o facendone uno bianco e l' altro nero ec.

Medesimamente dicasi per la cura che si ha di rendere assai riflettente e leggermente curva la superficie della parete dirimpetto all' apertura de'cammini da camera, affinchè meglio riflettino i raggi calorifici; ed impedir che si covra di nerofumo, tenendola sempre ben netta, affinchè i raggi che vi cadano non vengano assorbiti. Tenendo dunque in conto le espresse potenze emissive, assorbenti e riflettenti delle superficie, si perviene, secondo i casi ad usare or le une, or l'altra, e non indistintamente.

Sperienze di Melloni su la potenza emissiva o radiante.

100. Volendo Melloni paragonare le potenze emissive, assorbenti, e riflettenti delle diverse sostanze, pensò di adoperare il termomoltiplicatore invece dello specchio, osservando le deviazioni impulsive dell' ago dello strumento per dedurre da queste le deviazioni definitive, e i rapporti delle forze calorifiche. Gli eccessi di temperatura impressi al lato della pila termoelettrica che guardava il cubo, erano, come quelli del termometro differenziale, proporzionali a' poteri emissivi delle facce sottoposte all' esperienza.

Quanto alle sostanze non metalliche, lo stato della superficie ha debolissima efficacia su la potenza emissiva, dappoichè queste superficie sieno pulite, o raschiate profondamente, emettono sempre sensibilmente la stessa quantità di calorico. Ciò appunto avverasi pel marmo, l' avorio ec., le cui potenze emissive sono comprese fra 93 e 98. Ma le superficie

metalliche non seguono lo stesso andamento, perchè esse emettono in generale più calorico quando sono più scabre. E Melloni adoperando metalli fusi, battuti, ec. con superficie terse, e scabre, ebbe altri nuovi e sorprendenti risultamenti. Così avendo fatto comporre un cubo con quattro lamine di argento puro, ma la *prima* battuta e tersa, la *seconda* battuta e raschiata, la *terza* fusa e tersa, e la *quarta* fusa e raschiata, servendosi anche del termomoltiplicatore per paragonare le loro potenze emissive, le deviazioni ottenute furono le seguenti :

Lamine	*Deviazioni*
Prima	10.°
Seconda	18.°
Terza	13.°, 7
Quarta	11.°, 3

Così nell'argento fuso raschiato, la potenza emissiva invece di crescere cade da 13,7 ad 11,3, cioè più di $\frac{1}{6}$.

Lo stagno e l'oro fusi e puliti diminuiscono di potenza assorbente quando si raschiano ovvero si battono a freddo col martello. Queste nuove sperienze provano, che oltre allo stato di levigatezza e di scabrosità prima osservato, quando si rendono più dure ed elastiche le superficie, la potenza emissiva ed assorbente scemano invece di accrescersi.

Melloni ha provato ancora, che ne' corpi non metallici la quantità de'raggi riflessi da una superficie varia con le obliquità de' raggi incidenti. Così quando questi vi cadono perpendicolarmente, essa è assai più debole che quando vi cadono più inclinati; ma tale differenza diviene poco sensibile sintanto che l'angolo d'incidenza, misurato dalla normale, non sorpassa 25 a 30 gradi.

101. Si è veduto che le radiazioni calorifiche tramandate da superficie eguali ed egualmente riscaldate, variano con la qualità della sostanza radiante, che fra i due limiti estremi, i metalli radiano meno, ed il nerofumo più di qualunque altra sostanza, e che tra siffatti limiti, le differenze comprese fra gli altri corpi, variano sino a sommare otto a nove volte l'intero valore dell' azione meno energica. Ora questa proprietà si considerava da' fisici come un fatto separato, e non erasi peranche pensato a darvi qualche soddisfacente spiegazione.

Fourier nella sua *Teorica analitica del calore*, guidato forse dalla sola considerazione emessa da Prevost sopra una supposta profondità donde partono i raggi calorifici nella loro emissione da' corpi, volle con semplici considerazioni geometriche dimostrar la legge del *seno della inclinazione de'detti raggi*, la quale

venne dopo adottata anche da Poisson, e più amplamente disvolta nella sua *Teoria matematica del calore* (1). Ammettendo i due profondi geometri francesi *una forza di riflessione interna*, credettero poter con quella ipotesi spiegare le differenze di potenze emissive che manifestano i differenti corpi. Così Fourier fondavasi su questo principio generale « Che se modificando lo stato della superficie si aumenta la forza di riflessione dei raggi incidenti, *si aumenta pure la facoltà che possiede questa medesima superficie di riflettere verso l' interno del corpo i raggi che tendono ad uscirne* ».

Questa *riflessione interna* erasi già supposta da Prevost e così espressa nel suo *Trattato del calorico raggiante* « L' analogia e l' esperienza c' inducono ad applicare al calorico raggiante la teorica della luce riflessa. Quando il calorico passa dall' uno all' altro mezzo, esso patisce su la superficie intermedia un' attrazione o una ripulsione. Se il passaggio succede da un mezzo meno rifrangente, quale sarebbe il vetro, o un metallo terso e levigato, accade, a norma delle circostanze, (l' obliquità ec.) che il raggio è ripercosso. Ed il medesimo effetto si riproduce, secondo le circostanze, quando il passaggio ha luogo da un mezzo più rifrangente ad un' altro mezzo dotato di minore rifrangibilità » (2).

L' autore dunque della *Teorica analitica del calore* adotta compiutamente le idee di Prevost, perchè fra le definizioni preliminari di questa sua classica opera, trovasi la seguente proposizione « I raggi che tendono ad uscire da' corpi caldi, sono arrestati presso la superficie *da una forza* che ne riverbera una porzione nell' interno della massa. »

102. Più recenti, e diremo decisive sperienze di Melloni, permettono considerar poco concludenti le deduzioni matematiche stabilite da' due citati geometri francesi. Ripetendo egli con quella sagacità ed esattezza tutta propria, le sperienze più decisive di Leslie e di Rumford, ampliandole quindi, ed usando del suo termomoltiplicatore, e di termometri differenziali appositamente fatti colla maggiore accuratezza, pervenne a confermare quando aveva già detto Rumford, cioè « che sino ad *una data profondità* gli strati inferiori raggiano esternamente una certa porzione del calorico acquistato. Egli provò in seguito che tale profondità variava con la natura del corpo radiante. Epperò Melloni istituì una serie di delicate sperienze. Per queste egli adoperò una vernice limpida con cui covriva le facce del cubo, aumentandone gradatamente gli strati sino al numero di 19, la quale vernice era composta in modo che

(1) Fourier *Théorie analytique de la chaleur*, p. 29.
(2) Pietro Prevost — *Du calorique rayonnant.* Paris 1809. pag. 112.

si mantenesse sufficientemente secca ad una temperatura di 60 a 70 gradi centigradi, circostanza indispensabile per la riuscita delle sperienze a cui volevasi impiegarla (1).

Preparate così le quattro facce del cubo, con numero diverso di strati, e riempiutolo di acqua a + 60°, quando il termometro immersovi segnava + 50, le voltò egli successivamente dirimpetto la pila del termomoltiplicatore, operando prima da destra e sinistra, e tornando dopo da sinistra a destra, per compensare, con le due serie di osservazioni, le differenze che derivano dall' abbassamento di temperatura, le quali, a cagione della estrema sensibilità dello strumento termoscopico adoperato, variva fra limiti poco estesi. I risultamenti furono come appresso:

Strati di vernice	1,	2,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10
Radiazioni . . .	9,3.	13,9.	17,8.	21,3.	24,5.	27,4.	29,9.	32,2.	34,1.	35,8.
Differenze		4,6.	3,9.	3,5.	3,2.	2,9.	2,5.	2,3.	1,9.	1,7.

Strati di vernice	11	12	13	14	15	16	17	18	19.
Radiazioni . . .	37,2.	38,5.	39,6.	40,3.	40,8.	40,9,	40,9.	40,8.	41.
Differenze	1,3	1,1	0,7	0,5	0,1	0,0	0,2	0,2.	

Le differenze fra l'una e l'altra radiazione, dimostrano che l'azione calorifica aumentasi gradualmente secondo una serie decrescente fino al sedicesimo strato, che è l'ultimo, la cui azione si trasmette immediatamente all'esterno.

Sostituendo dopo Melloni le foglie di oro del battiloro agli strati di vernice, lasciando una sola faccia del cubo coverta da quest'ultima, non trovò alcuna differenza in quelle facce ove erano foglie di diverse grossezze; il che fecegli dedurre, aver la foglia più esile già raggiunta, e forse anche oltrepassata, la massima grossezza necessaria a produrre l'azione più energica della superficie metallica. Così quando alla parete del cubo inverniciata, che dava una radiazione di 40 a 41, veniva surrogata una delle tre altre pareti coverte con foglie di oro, dava sempre 4, 5 di forza radiante. E però nell'oro, i raggi di calore non derivano da una profondità maggiore di 2 millesimi di millimetro, che è la minima grossezza delle foglie di oro, dove che la vernice tramanda le proprie radiazioni sino ad una profondità di 44 millesimi di millimetro, come l'autore potè calcolarlo mediante la gravità specifica della vernice adoperata, il peso di questa sostanza che aderiva su la parete guernita di sedici strati, e l'estensione della faccia del cubo. La profondità

(1) Questa vernice, facile a prosciugarsi, fu fatta con gramme 30 di succino, 40 di mastice, 28 di sandaracca, 13 di opoponace, 3 di gomma gutta, e 350 di alcool; lasciando in digestione le dette sostanze per 3 giorni, agitandole di quando in quando, e decantandone dopo il liquido ottenuto.

della radiazione nella vernice, presenta dunque un limite di azione 22 volte più lontano dalla superficie, paragonato a quello dell'oro, il che spiega la più grande potenza raggiante della prima sostanza. E supposto lo strato di oro = 1, quello della vernice opera come 22 strati dello stesso oro sovrapposti tra loro. Egli è vero che gli strati inferiori debbono produrre un'azione minore della superficie, dovendo le loro radiazioni attraversar la materia soprastante; ma siccome le profondità relative degli ultimi punti esterni radianti nella vernice e nell'oro sono in un rapporto assai più divergente di quello che passa tra le potenze emissive di queste due sostanze, la minore azione degli strati inferiori può trovarsi compensata dalla loro superiorità numerica.

103. Tenendoci a queste sole sperienze fra le tante altre fatte da Melloni su lo stesso soggetto (1), non è più difficile dedurne, che la supposta efficacia di una riflessione interna del calore ne'corpi non sussiste, perchè dovendo essa servire a dare ragione delle differenze manifestate dalle radiazioni dei corpi, farebbe duopo introdurre questa stessa forza nelle considerazioni relative all'uscita del calore sotto diverse inclinazioni, e facendovela intervenire, ne seguirebbe che la legge del seno della obliquità de'raggi non è indipendente dalla natura della superficie radiante; lo che non coincide con l'esperienza, perchè siffatta legge ha luogo in qualunque caso, su le superficie piane, più o meno inclinate, di metallo liscio o scabro, terso o rivestito di nerofumo, o di qualsiasi altra sostanza. La legge del seno e la varietà delle potenze emissive, derivano dunque, secondo ogni probabilità, dalla sola forza o dalla quantità più o meno grande de'raggi calorifici, i quali spiccandosi da'punti più o meno prossimi alla superficie, traversano liberamente gli strati soprastanti.

CAPITOLO V.

Sorgenti e produzioni del calore.

Calore solare. — Calore centrale. — Calore animale. — Calore prodotto dalle azioni meccaniche. — Calore prodotto dal passaggio dell'elettricità a traverso de'corpi. — Calore prodotto dagli effetti termo-chimici prodotti dalle affinità.

104. Due sono le più grandi sorgenti naturali del calore, o centri di vibrazione dell'etere da cui deriva. La prima sta nel Sole, ed è il *calore solare*, il quale opera soprattutto su la superficie

(1) V. *Memoria su la potenza emissiva o radiante de'corpi,* inserita nel *Museo di Scienze e Letteratura*, Fascicolo de' 28 Marzo 1845.

terrestre ed a poca profondità della sua massa. L'altra si suppone trovarsi nel centro del Globo, ed è il *Calore centrale*, al quale vengono ora accagionati tutt'i *fenomini vulcanici*, e quelli di *sollevamenti*, *sprofondamenti* e *ripiegamenti* che succedono nella massa terrestre sopra e sotto le acque. Ne' *fenomeni della vita organica*, nelle *azioni meccaniche*, *elettriche*, *chimiche*, ed in quelle della *capillarità*, avvi similmente produzione più o meno grande di calorico.

Calore solare.

105. La vera cagione del calore solare ci è ancora ignota. Fra le tante vaghe ipotesi, quella della combustione dell' idrogeno contenuto nelle alte regioni, e l'altra (emessa da qualche anno) che il calore fosse l' effetto di correnti elettriche circolanti intorno il nocciolo di quell' astro, sembrano le men favolose. Egli è vero che questa ultima supposizione è una mera ipotesi; ma è pur vero che essa presenta più che le altre una qualche probabilità, dopo quanto di maraviglioso ed importante va ogni giorno discoprendosi intorno all' elettrico.

Il calore emanato, ovvero vibrato dal sole, regola e mantiene lo stato diverso di densità de' corpi che sono nella superficie terrestre, su la quale determina, dopo la sua più o meno lunga durata, i differenti climi, le stagioni, ed il vario grado di riscaldamento diurno ed annuo delle diverse sue parti. Così vediamo le nevi perpetue e la mancanza di corpi organizzati nell' approssimarci a' poli, e nella cima di monti altissimi, quali le Alpi, i Pirenei, il Chimborazzo, ed i Vulcani del Catapaxi e d'Antisana, sotto la Zona torrida; trovando all' opposto l'acqua e gli altri liquidi, ed i corpi organici a misura che da'poli si va verso l' equatore.

Il sole opera continuamente, ma sempre sopra una metà del globo in una volta. Traversando i suoi raggi lo spazio, questi entrano nella parte superiore dell' atmosfera, l'attraversano con velocità grandissima (percorrendo 240,000 miglia in un secondo) senza punto riscaldarla, e, pervenuti su la superficie terrestre, parte ne son ritenuti o assorbiti, e que' che vengono diffusi o riflessi, cagionano il riscaldamento negli strati di aria sovrapposti, il quale scema crescendo l'altezza della colonna di aria.

106. Non il sole soltanto, ma tutti gli altri corpi luminosi che splendono nella volta celeste lanciano o vibrano raggi calorifici, i quali solo per la immensa distanza da cui partono non giungono su la terra in modo da poterne avvertire gli effetti calorifici anche con i migliori strumenti che la fisica possiede. Il calcolo di Fourier porta da 70 a 80 gradi centigradi sotto zero la temperatura che deve essere sopra la nostra atmosfera, e tale

sarebbe ancora quella della superficie del globo, ove il sole mancasse. Il perchè tutt'i luoghi della superficie terrestre debbono alla presenza di quest'astro tutto il calorico che è sopra i 70 ad 80 gradi presi sotto lo zero. Il calore solare assorbito dalla superficie terrestre cambia, a dir così, di natura e non può più attraversare liberamente come prima l'atmosfera sotto forma raggiante. L'aria conserva dunque il calore acquistato dalla terra e se il nostro globo avesse un atmosfera di aria di maggiore altezza, il calore dovrebbe essere anche maggiore nella sua superficie. Le ricerche di Forbes fan presumere che quando l'atmosfera ha l'apparenza di una serenità perfetta, essa assorbe quasi la metà della quantità totale del calore che il sole vibra sulla terra, ricevendone così appena l'altra metà, la quale trovasi poi diversamente ripartita secondo che que' raggi attraversano l'atmosfera con obliquità più o meno grande, e che percorrono maggiore o minor cammino per giungere su la superficie terrestre.

107. Gli effetti variati prodotti da' raggi solari su le diverse parti del globo, dopo queste considerazioni, debbono dipendere non tanto dalla lor durata quanto dal grado di obliquità o altro modo onde vi cadono. Così alla zona media, o all' equatore, cadendo i raggi perpendicolarmente ed a minor distanza alla superficie del suolo, deve la terra trovarsi in que' luoghi più riscaldata che verso i poli, ove i raggi cadono obliquamente, ed in conseguenza a maggiore distanza, ed in minor numero de' raggi diretti nello stesso spazio terrestre. E difatti le osservazioni ripetute han provato, che il riscaldamento della superficie terrestre è massimo nell' equatore, e diminuisce a misura che i raggi si fanno più in più obliqui accosto a'poli; effetto che ha similmente luogo nel tramonto del sole in cui i raggi cadono anche obliqui in quelle stesse parti ove prima vi giungevano perpendicolarmente ec. Il perchè deducesi, che a pari estensione di superficie fra le parti vicino i poli e quelle dell'equatore, cadendo su le prime minor numero di raggi che nelle seconde, deve il calore essere meno intenso in quelle che nelle ultime, tanto che passando i raggi solari prossimamente a' poli, non debbono lasciarvi calore sensibile. Inoltre la rotazione a cui è soggetto il nostro globo, obbligandolo a presentare al sole successivamente le diverse parti della sua superficie, ci spiega la cagione del cambiamento di temperatura del giorno e della notte; e dal suo moto di traslazione, combinato con la obbliquità dell'assa terrestre sul piano dell'eclittica, deduciamo ancora quello delle diverse stagioni, de'diversi climi, e della durata del riscaldamento solare nelle diverse latitudini del globo; come altresì le nevi perpetue in que' luoghi ove non arrivano abbastanza raggi solari per deporvi o suscitarvi tanto calorico da fondere quelle grandi masse di ghiaccio (V. i §§. 5, 6 13 del vol. 1.).

108. La cagione almeno apparente che mantiene un calore più grande nelle basse regioni dell' atmosfera che nelle parti più alte, può ripetersi da che il calore solare non perviene su la superficie terrestre passando successivamente dall' uno all' altro strato, ma ciò devesi alla maggior densità dell' aria nelle parti più basse che ne aumenta il grado di capacità, per accogliervi e ritenere il calore riflesso dalla superficie terrestre, ove i raggi solari giungono immediatamente e ne sono rimandati nell'atmosfera; ma nelle regioni più alte, il calore riflesso non giugne così come nelle basse, perchè la sua intensità deve diminuir coll' aumentarsi la distanza alla superficie terrestre. Aggiungasi la minor densità dell' aria nelle parti superiori dell' atmosfera che decresce con l'altezza, e diminuisce la capacità a ritenere il calorico; perciò deve ivi l' aria trovarsi di meno in meno riscaldata a misura che si avvicina a' limiti presunti della sua altezza.

Calore centrale.

109. Quando ci facciamo attenti ad osservare le variazioni di temperatura dell' aria secondo i gradi di latitudine, di elevazione, e di altre circostanze accessorie, e quelle della superficie della terra, la quale sotto la stessa opera del calore solare nei diversi climi, riscaldasi sempre più dell'aria, troviamo che le stagioni e le latitudini possono continuamente modificare il riscaldamento esterno della terra, il quale sopra certi punti fa innalzare il termometro sino a + 60° centigradi, e sopra altri si vede abbassare sino a — 50°; e sparito il sole dall'orizzonte, il suolo raggia una porzione del calore acquistato, verso gli strati superiori dell' atmosfera. Queste generali variazioni, che avvengono solamente nella superficie terrestre o al più a 3 a 4 centimetri di profondità, spiegano il raffreddamento notturno, e come l' aria trovasi più calda della stessa superficie della terra. Ma la durata diurna del sole, se permette dedurne che le oscillazioni nella temperatura si fanno solo sopra uno strato di 4 centimetri di spessezza, quella annua però deve operare da 25 a 30 metri ne' nostri climi, perchè all' equatore questo strato invariabile è ad una più piccola profondità al di sotto del suolo, ma esso aumenta con la latitudine, e può giugnere sino a 40 metri. A queste profondità le variazioni di temperatura cessano, e perciò si è questo punto interno della massa terrestre detto la *linea o strato di temperatura invariabile.*

Noi sino a tal limite di profondità possiamo dare ragione del calore solare; ma quando vogliamo oltrepassarlo, l'osservazione dimostra, che nelle miniere, e ne' pozzi artesiani, trovasi costantemente per ogni 25 a 30 metri di profondità aumentata di un grado la temperatura di quella che il termometro segnava.

Il calore dunque, che dopo le prime osservazioni fatte da Gensanne nel 1740 nelle miniere di piombo di Giromagny, e ripetute con eguali risultamenti da de Sausurre, da Humboldt, e da Daubuisson, *aumenta con la profondità*, ci somministra un altra sorgente di calore che si è detta *calore centrale*. Or tale aumento non può attribuirsi al calore solare, e deve manifestamente avere per origine un *calore proprio* del nostro globo, il quale diminuisce successivamente pel suo raffreddarsi nello spazio. E di fatti, penetrando nella massa terrestre, non troviamo sostanze da cui può trarsi ragione della produzione del calore suddetto; nè tutti gli altri mezzi meccanici fisici e chimici atti a destar calore, potrebbero spiegarci l'accrescimento di temperatura che di mano in mano sperimentasi penetrando nelle viscere della terra. Ma dalle ricerche analitiche di Fourier si è potuto dedurre una lentezza grandissima con cui il calore deve diffondersi dalla massa terrestre, sia nell' esterno che nell' interno di essa; perchè la temperatura della sua superficie non è aumentata da questo calore che appena di $\frac{1}{30}$ di grado del termometro centigrado, supposto l'aumento di temperatura di 1 grado per 30 metri di profondità, come è l'opinione più generale de' geologi; e perciò deduce Fourier, dover passare più di 30,000 anni perchè la ragione di questa progressione diminuisse della metà. A tale teorica intanto sembra opporsi il movimento di questo calore che è più lento nell' interno del globo che presso la sua superficie, come dice Fourier, istesso, cioè « che l'e« spressione matematica della legge del raffreddamento dimo« stra, che il calore primitivo contenuto in una massa sferica « di una sì grande dimensione, come è quella della terra, di« minuisce assai più nella superficie che nelle parti che sono a « maggiore profondità, perchè queste conservano tutto il ca« lore durante un tempo immenso, quando anche questo si vo« lesse dedurre dalle sostanze metalliche che sono più condut« trici delle altre materie del globo » (1).

Le ricerche fatte dopo da Poisson su lo stesso soggetto, han del pari confermata l'idea su la lentezza infinita con cui deve il calore diffondersi dal centro della massa terrestre alla sua superficie. Perchè, supposto, egli dice, che in origine tutta questa massa fosse stata riscaldata ad una temperatura di 3000 gradi, dovrebbero passare almeno un milione di secoli perchè quella della superficie ne risentisse appena l'aumento di $\frac{1}{30}$ di grado, ammesso l' accrescimento di 1 grado per ogni 30 metri di profondità, e vi bisognerebbero 3 milioni di secoli perchè queste piccole frazioni si riducessero a metà. In tale ipo-

(1) Fourier, *Remarques générales sur la temperature du globe terrestre* etc. Ann. de Chim. et de Phys. Octobre 1824.

tesi, bisognerebbero mille milioni di secoli perchè il centro della terra perdesse un milionesimo del suo calore primitivo, lo che darebbe un' idea dell' incredibile eccesso di raffreddamento della superficie del globo per rapporto al raffreddamento suo centrale. Poisson dedusse ancora da queste ricerche, che standosi all' ipotesi di una temperatura primitiva di 3000 gradi, un punto che fosse posto ad un ventesimo del raggio terrestre, o a 75 leghe, perderebbe appena tre millesimi di grado dopo un raffreddamento di tre milioni di secoli.

Questa circostanza avea indotto Poisson a rigettare l' idea di un calore centrale come cagione dell' accrescimento della temperatura che d'ordinario sperimentasi nelle profondità a cui si è potuto pervenire sinora, e supporre poter esso dipendere dal calore solare penetratovi dalla superficie e dalla ineguaglianza del *calore radiante degli spazii* che percorre il nostro sistema planetario col sole in un movimento di traslazione, il cui periodo ci è del tutto ignoto (1). Ma l'idea dominante de'geologi su l'origine dei vulcani, e la cagione de' sollevamenti, delle injezioni delle rocce plutoniche, le sorgenti termali ec., tutto porta ad ammettere, per la spiegazione di questi fenomeni, la esistenza di un calore primitivo nel centro della massa del globo, da cui muovono le dejezioni delle materie vulcaniche infuocate, quando possono queste aprirsi una strada attraverso la crosta della superficie terrestre, e sollevar questa ove la sua spessezza si opponesse allo sbocco di quelle materie. Le rocce primitive che sono alla base di tutte le altre formazioni, e che nelle dejezioni vulcaniche son cacciate sulla superficie terrestre provano abbastanza che la sorgente proviene dalle parti più prossime al centro del globo. Ed in ultimo, per dare ragione del calore centrale col sistema dell'ondulazione, può dirsi esser esso probabilmente un resto dell'altissima temperatura svolta nel primo contatto delle varie sostanze che diedero origine al nostro globo, contatto che produsse dipoi tante chimiche reazioni, e quindi una immensa agitazione nelle molecole ponderabili e nell' etere circostante.

Calore animale.

110. Le ricerche su la cagione della sorgente del calore animale hanno non poco occupato i fisici, i chimici, ed i fisiologi per darne la più plausibile ragione. Essi han preso primamente a guida l' esame più attento de' fenomeni della respirazione, quelli della digestione, e soprattutto l' azione reciproca de' principii de-

(1) Poisson, *Mémoire servant de supplément à la théorie de la chaleur*, 1837; note C.

gli alimenti e dell' ossigeno trasportato nell' organismo per effetto della circolazione, durante la respirazione.

Lavoisier e Laplace furono i primi che intrapresero sperienze dirette sopra questo importantissimo subietto, e paragonarono il calore che producesi negli animali a sangue caldo, in un dato tempo, a quello che svolgesi nella formazione dell' acqua e dell' acido carbonico, che derivano dall' assorbimento dell' ossigeno durante la respirazione di uno stesso animale. Il fenomeno fu da Lavoisier considerato come una *lenta combustione*, secondo le circostanze, dell' idrogeno e del carbonio con l'ossigeno assorbito dall' animale durante la respirazione. Egli dedusse ciò dall' avere osservato, che l' aria servita alla respirazione si trovava dopo alterata allo stesso modo di quella che serve alla combustione, e perciò ammise, che durante la respirazione si fa una vera combustione ne' polmoni.

Fatti questi primi passi, la cagione principale della sorgente del calore animale non fu più un mistero, nè più dipendente da soli effetti di moti nervosi, ma restava conoscer la quantità di calorico prodotto in questa combustione, per veder se esso poteva bastare da sè solo a rimetter le perdite di calorico che fanno gli animali per effetto dell' ambiente in cui vivono. Dulong se ne occupò il primo, e dalle sue sperienze potè dedurne:

1.° Che l'aria che esce da' polmoni nelle espirazioni, a circostanze eguali, è sempre più umida di quella che vi entra;

2.° Che una parte dell' ossigeno che essa perde, viene surrogata dall' acido carbonico, ed un' altra sparisce;

3.° Che l' azoto in questo frattempo non prova sensibili alterazioni.

Queste deduzioni non furon dopo trovate esatte, perchè a quel tempo si ammetteva che un gramma d'idrogeno dava nella sua combustione 23400 unità di calorico, quando esso ne dà invece 34601, come fu dopo provato con l' esperienza. E perciò calcolando Dulong sopra quel primo dato erroneo, non potè riprodurre che solo gli otto decimi del calore osservato nell' animale; lo che lasciava ancora una grande latitudine a' partigiani della *innervazione*, per sostenere che *l' azione vitale* sul sistema nervoso bastasse per produrre tutta la quantità di calorico necessario all'uomo ed agli animali. Ed infatti, se il coefficiente della combustione, mal determinato dapprima, si fosse portato a 34601 pel calorico svolto da 1 gramma d' idrogeno, come lo è il nuovo coefficiente dedotto dall' esperienza, facendone il calcolo, avrebbe trovato, che i fenomeni chimici della respirazione bastano per dar conto di tutta la quantità di calorico che in ciascun istante vien prodotto e perduto dal corpo vivente.

111. Despretz fece dopo altre più importanti ricerche, che

vennero divulgate nel vol. 24 degli *Ann. de chimie*, e confermò la opinione emessa da Lavoisier, che cioè la respirazione doveva considerarsi la cagione principale del calore animale. Ma non avendo anch' egli adottato il nuovo coefficiente 34601 pel calorico svolto da un gramma d' idrogeno, affinchè i suoi risultamenti fossero più comparabili con gli antecedenti, dovrebbero calcolarsi nuovamente sul coefficiente citato (1). Nondimeno potè Despretz ammettere come risultamento delle sue sperienze:

1.° Che la respirazione è la principale cagione della produzione del calore animale, e che l' assimilazione, il movimento del sangue, il confrigamento delle diverse parti, o il sistema nervoso, possono produrne solo la piccola porzione restante;

2. Che oltre l' ossigeno impiegato alla formazione dell' acido carbonico, un' altra proporzione di quel gas, qualche volta anche considerevole, relativamente alla prima, disparisce, e che questa è maggiore negli animali giovani che negli adulti;

3.° Che vi ha esalazione di azoto nella respirazione degli animali mammiferi, carnivori o frugivori, ed in quella degli uccelli, ma la quantità dell' azoto è maggiore ne' frugivori che ne' carnivori;

4.° Che nello svolgimento del calore animale, la respirazione produce ne'carnivori meno calore che ne'frugivori; lo stesso che avviene negli uccelli, paragonati a' mammiferi.

Il perchè conchiuse Despretz, che l'uomo e gli animali ricevono dalla respirazione la più gran parte del calore che mantiene la loro temperatura superiore a quella dell' ambiente, e che lor permette vivere anche quando questa fosse tale da congelare il mercurio, cioè 39°. gradi centigradi sotto lo zero, come succede per gli abitanti delle regioni boreali, i quali si trovano una parte dell' anno esposti a questo freddo, ed anche più. Or se la respirazione è la cagion principale del calore animale, deve questo scemare quando la prima si fa più lenta; e ciò succede col fatto, perchè Lagallois ha veduto raffreddarsi un animale quando se gli faceva respirare un' aria rarefatta, e che si poneva in una posizione tale da impedirgli una più libera respirazione (*Ann. de Chim. et de Phys. t. 4.*).

Ma non solo un freddo rigido può sopportarsi dall' uomo e dagli animali a sangue caldo, quando essi fanno uso di opportune vestimenta, ed alimenti, come diremo più appresso, seb-

(1) Paragonando i risultamenti ottenuti da Lavoisier e Laplace sul coefficiente citato, e da quello di Despretz, che era di 20624, si è maravigliati nell' osservare la grande differenza con quello avuto di poi, cioè 34601. Favre e Silberman avendo preso in esame lo stesso soggetto, ebbero dalla media di sei sperienze 34555, numero che poco differisce da quello ottenuto da Dulong, e perciò questo venne riputato più esatto.

bene ancora un calore considerevole nell'ambiente in cui vivono. Banks, Blangden, e Fordyce si esposero ad un calore di + 125 centigradi, ed il loro corpo conservò quasi la temperatura di prima. Berger e Laroche postisi in una stufa, la cui temperatura era + 49°, trovarono alquanto dopo aumentata la loro temperatura di soli 4 gradi circa. Laroche restatosi solo 16 minuti in una temperatura di + 90°, vide crescer la sua appena di 5 gradi. Queste differenze possono farsi derivare dalla varia traspirazione cutanea in questi individui.

112. Più recentemente Becquerel e Breschet han fatto altre sperienze su la stessa materia, e son venuti a'seguenti risultamenti:

1.° Che ne' cani il sangue arterioso è più caldo di un grado del sangue venoso;

2.° Che non vi ha differenza sensibile di temperatura negli abitanti della vallata del Rhône da quelli del san Bernardo, come anche ne' cani di queste due regioni;

3.° Che nello stato di febbre, la temperatura dell' uomo può alzarsi di 1 a 2 gradi;

4.° Che in più casi d' infiammazione locale, cronica o accidentale, la temperatura dell' organo infiammato può essere più alta che quella generale del corpo, ma questa differenza di rado è maggiore di 1 a 2 gradi.

Quantunque queste sperienze presentassero ancora qualche obiezione, si è potuto nondimeno dalla lor totalità desumere, che lo svolgimento del calore nel corpo animale è sempre conseguenza della combinazione dell' ossigeno che separasi dall' aria con una sostanza combustibile. Così il carbonio e l' idrogeno che si trovano negli alimenti, nel mutarsi in acido carbonico ed acqua, debbono produrre tanto calorico, come se bruciassero direttamente nell' aria o nell' ossigeno; a differenza solamente, che nell' aria la quantità di calorico è più debole che nell' ossigeno, ma è di maggiore durata nella prima, più pronta e più grande nel secondo. Il perchè il numero delle unità di calorico divenuto libero, deve diminuire o aumentare secondo la quantità di ossigeno che viene assorbito dall' animale in tempi eguali, per effetto della respirazione. E perciò noi vediamo, in circostanze eguali, cioè in un'aria più densa o meno densa, che si gli animali che hanno lo stesso volume del corpo a riscaldare, che que' che hanno la respirazione più celere e sostenuta, consumano più ossigeno ed hanno temperatura più elevata; mentre al contrario que' che ne consumano meno per una più lenta respirazione, la tengono più bassa de'primi. La quantità dunque di ossigeno che entra ne'polmoni, è sottoposta non solo al numero delle inspirazioni, ma ancora alla temperatura e densità dell' aria, dappoichè la capacità del petto in un animale

resta sempre la stessa, ed a ciascuna inspirazione deve entrarvi sempre uno stesso volume di aria ; ma la temperatura di questa , e la densità che ne conseguita , deve far variare la quantità di ossigeno in questo egual volume di aria inspirata , dovendo il calore dilatarla , ed il freddo costiparla ; e perciò l' ossigeno deve variare in due eguali volumi , cioè uno caldo ed un altro freddo.

Così un uomo adulto che a + 15° assorbisse o, 91 di metro cubo di ossigeno per giorno, questo volume peserebbe 1015 grammi; ma se lo stesso volume fosse assorbito nel medesimo tempo, e la temperatura di esso segnasse zero , il peso dell' ossigeno si eleverebbe a 1100 grammi. E per la densità e pressione varia dell' aria , vicino al mare , ove la pressione e la densità son più grandi che nella cima di un monte, l'uomo e gli animali a sangue caldo assorbono , per lo stesso numero d' inspirazioni , maggior quantità di ossigeno nel basso che nell' alto della montagna , e perciò la quantità di acido carbonico rigettata da' polmoni nelle successive espirazioni, come quella dell' ossigeno da esso assorbito nelle inspirazioni, deve variare col variar la pressione barometrica e la temperatura dell' aria.

113. A fin di meglio fermare ogni altro ragionamento su la cagion prima del calore animale, derivandola dall'ossigeno assorbito, e dalla natura degli alimenti e quella del sangue, dopo le più accurate sperienze provarono Lavosier e Seguin, che un uomo adulto assorbisce in ogni giorno, a temperatura e pressione media dell' aria , 1015 grammi di ossigeno. Or supposto, che il sangue racchiuso nel corpo di costui , pesi 12 chilogrammi, e che vi si contenga 80 per 100 di acqua , come l' analisi dimostra , per mutare il suo carbonico ed idrogeno in acido carbonico ed acqua, occorrendovi 4271 gramma di ossigeno, si troverà , che la quantità di quest' ultimo che deve penetrare nel corpo , richiede 4 giorni e 5 ore di successive inspirazioni. Or qualunque si fosse il modo onde l' ossigeno assorbito operi durante la respirazione , che esso cioè operi direttamente sopra gli elementi del sangue , ovvero sopra quelli degli alimenti , o di altre materie idrogenate o carbonate del corpo , niente si oppone ad ammettere , che aspirandosi 1015 grammi di ossigeno per giorno , deve riprendersi dagli alimenti altrettanto carbonio ed idrogeno che si contiene in 12 chilogrammi di sangue , supposto che il corpo resti nello stato normale , ed invariabile il suo peso. E difatti , le reiterate osservazioni han provato , che il peso del corpo di un uomo adulto convenientemente nutrito , non si trova a capo delle 24 ore nè aumentato nè diminuito , non ostante la quantità così grande di ossigeno assorbito , (durante questo intervallo) dagli organi.

Lavosier confermò queste osservazioni anche per la durata di

un anno, quantunque l'uomo avesse assorbito 373 chilogrammi di ossigeno dall' atmosfera, che dopo Menzies trovò potersi elevare a 411 chilogrammi. Comprovato così con l' esperienza l' assorbimento di questa grande quantità di ossigeno da un solo individuo, e che esso non resta nel corpo, ma ne esce sotto forma di acqua e di acido carbonico, deve di conseguenza quest' ossigeno combinarsi al carbonio ed all' idrogeno di certe parti dell' organismo e ad alcuni principii degli alimenti, ed uscirne dalla cute e da' polmoni nelle successive espirazioni dell' aria, sotto forma di acido carbonico e vapore acquoso.

Ripetendo tali sperienze Boussingault, trovò che un cavallo può consumare in 24 ore 2465 grammi di carbonio, ed una vacca lattante 2212; l' acido carbonico che ne risulta con l'ossigeno assorbito, è rigettato da' polmoni e dalla cute. Il cavallo dunque, per questa quantità di carbonio, deve assorbire 6504 grammi di ossigeno, e la vacca 5833 nelle ore 24.

114. La temperatura, la densità, e la pressione dell' aria da cui gli animali traggono l' ossigeno, importa non poco su i risultamenti. Le reiterate sperienze han provato, che i fanciulli, la cui temperatura è di + 39 centigradi, consumano più ossigeno che gli adulti, ne' quali trovasi perciò questa in grado minore, cioè + 37°, 5. Negli uccelli, stando la temperatura del corpo fra i 40° a 41°, l'assorbimento è maggiore che ne'quadrupedi, il cui calor proprio è fra i 37° a 38. Ne'pesci e negli animali anfibii, la cui respirazione, detta *acquatica* (1), si fa sottraendo l' aria dell' acqua, la temperatura propria sorpassa appena 2 gradi quella dell' acqua in cui vivono. John Davy è venuto ancora a risultamenti più generali ed esatti, dopo una sequela di lunghe sperienze fatte sopra molti animali ed in diversi climi in siti assai lontani. Dagli specchi delle sue osservazioni rilevasi: Che negli amfibii la temperatura propria è presso a poco quella dell' ambiente in cui vivono: Ne' pesci, nelle ostriche comuni, e nel granchio di mare, la temperatura è quella del mare stesso: Negli uccelli la temperatura sorpassa quella degli altri animali; vengono dopo per ordine, i mammiferi, gli amfibii, i pesci e certi insetti, ed in ultimo i

(1) La respirazione è *aerea* quando l'animale respira l' aria dall' atmosfera, ed *aquatica* se ritira questa dall' acqua. La prima si opera per mezzo de' polmoni e delle trachee, le quali son vasi membraoosi elastici che ricevono l' aria dagli orifizii aerei esteriori degli animali, detti *stigmi*, e poi la distribuiscono per infinite ramificazioni che sooo in tutto il corpo, come avviene pe' mammiferi, per gli uccelli, pe' rettili, e per una parte de' molluschi, aracnidi ed insetti ec. La seconda avviene per le *branchie*, le quali consistono in talune lamelle membranose, spesse foliate a' margini, su le quali veogono a diramarsi le arterie branchiali, ed a formarvi uoa reticella vascolare, nella quale, il sangue venoso cambiasi in arterioso mercè l'ossigeno dell' aria assorbito dall' acqua, e per le vene branchiali è recato alla aorta, che poi lo distribuisce a tutte le parti del corpo. E questi sono i pesci, la più parte de' molluschi, gli anellidi, e tutti i crostacei.

molluschi ed i crostacei che sono sensibilmente alla temperatura dell' ambiente, come pure sono i vermi su i quali si son dirette sinora le sperienze.

Gli animali dunque hanno tutti una sorgente di calore indipendente dal mezzo in cui vivono; ma questa sussiste solo in quelle parti in cui arriva il sangue arterioso, ove cioè l'ossigeno assorbito può penetrare, perchè, come è noto, i peli, la lana, le piume ec., che sono fuori l' animale, non hanno un calore proprio, ma quello che viene aggiunto, ovvero sottratto ad essi dall' ambiente. Il perchè la restituzione del calore perduto dall' animale per effetto dall'ambiente, non può altrimenti effettuarsi se non per l' azione reciproca de' principii degli alimenti e dell' ossigeno assorbito durante la respirazione, indipendentemente dalle altre circostanze accessorie, perchè il loro carbonio si troverà sempre mutato in acido carbonico, e l' idrogeno in acqua, uscendone l' azoto ed il carbonio eccedente con le orine e gli escrementi fuora l' animale. In generale, come fa osservare Liebig, gli alimenti sono pel corpo dell' animale quello che è l' aria per un forno, più vi ha in questo accesso la corrente di aria, più aumenta la quantità di calore, ed al contrario. E di fatti in un clima assai freddo più sentesi il bisogno degli alimenti, che in un clima caldo; e quelli che muojono nel primo, è quasi sempre per mancanza di opportune vestimenta a ripararsi dall' azione immediata dell' aria. Ma le vesti possono sino ad un certo limite, supplire alla momentanea mancanza di alimenti, dovendo allora il corpo perder meno calore proprio, e perciò la riparazione ne diviene meno necessaria.

115. L'uso de' liquori inebrianti, dell'olio di pesce, del grasso ec. presso i popoli delle ragioni boreali, ci porge la stessa spiegazione; perchè il carbonio e l'idrogeno di cui quelle sostanze sono più abbondantemente provvedute di altre, contribuiscono a mettere il loro corpo in equilibrio di temperatura coll' ambiente. La quantità dunque e natura degli alimenti deve regolarsi secondo l' età, lo stato normale o innormale degli organi digerenti, il clima, la temperatura e densità dell' aria che serve alla respirazione, e sù la quantità di calore che il corpo dell' animale deve cedere all' ambiente. Quando queste condizioni sono adempite, l' uomo può resistere al freddo il più intenso.

Alcuni animali sentono meno il bisogno degli alimenti. Un serpente può vivere senza nutrimento per più mesi, ma un uccello che ne fosse privo si vedrebbe morire il terzo giorno. Pel primo, l' assorbimento dell'ossigeno durante un ora, fu trovato sì poco sensibile, che l' aria contenuta sotto la campana in cui fu obbligato a vivere, presentava appena tracce di acido carbonico.

All' efficacia de' principii degli alimenti e dell'ossigeno, debbonsi aggiungere ancora le azioni meccaniche del corpo. Così ne' climi più freddi l' uomo è sospinto al lavoro o al moto più che nelle regioni assai calde, ed in queste ultime più nel verno che nella state, e perciò il bisogno del nutrimento è maggiore ne' primi luoghi che negli ultimi. Ma ove gli organi digerenti fossero indeboliti, e che l' uomo non potesse introdurre nello stomaco la quantità di alimenti necessaria per consumar l' ossigeno assorbito durante la respirazione, allora non si potrebbe sopportare un freddo troppo sensibile, e perciò in questi casi fa duopo passare in un clima più temperato, come succede per que' delle regioni fredde che si trasportano in quelle più meridionali, in Italia ec.

116. La temperatura dunque del corpo umano, e quella di tutti gli animali a sangue caldo, considerati essi in uno strato normale convenevole, e che seguano o si trovino nelle esposte condizioni favorevoli, deve restar la stessa in tutt' i climi, qualunque si fosse la differenza di temperatura in cui si trovino, perchè l' equilibrio fra le differenze del calore del corpo con quello dell' ambiente, trovasi sottoposto alle circostanze narrate. Così gli animali delle regioni polari sono più caldi della temperatura dell' ambiente, e quelli delle regioni equatoriali più freddi di essa; come succede degli uccelli che non son mai alla temperatura dell' aria, nè i pesci a quella dell' acqua, che è l'ambiente in cui vivono, e che si è detto elevarsi appena di 1 a due gradi. Or perchè vi fosse un certo equilibrio fra le due temperature, deve l' animale o l' uomo ricevere calorico, se la temperatura circostante è più elevata di quella del suo corpo, e cederlo ove fosse più bassa. La differenza dunque di *celerità* di raffreddamento deve dipendere dal grado di temperatura del mezzo, perchè se questa fosse assai più fredda di quella dell' animale, l'assorbimento del calorico da questo diverrebbe più pronto, ed al contrario. Stando così le differenze di temperatura fra il corpo dell' animale e dell' ambiente, quantunque un abitante delle regioni polari si trovasse in un freddo di 40 a 50 gradi, ed un altro ad una temperatura presso a poco eguale a quella del suo corpo nelle regioni calde, nondimeno l' osservazione dimostra, che la temperatura del sangue degli abitanti de'due climi resta eguale; dappoichè dovendo il calore animale disperdersi più celeremente nelle regioni assai fredde, deve con pari celerità riprenderne dall' origanismo; lo che non succede nei climi caldi, in cui l' equilibrio di temperatura fra l'animale e l' ambiente ha più lentamente luogo.

117. Da quanto si è esposto, il più breve possibile, può agevolmente dedursi, che la produzione del calore animale non può spiegarsi con pura idee *speculative*, cioè solo per mezzo di un *moto*

nervoso come lo vogliono i partigiani della *innervazione*, ma esso, dopo le tante pruove sperimentali più concludenti, dipende essenzialmente da una vera *metamorfosi chimica* delle sostanze organiche che sono dentro l'animale e quelle che vi portano gli alementi, in contatto coll'ossigeno assorbito durante la respirazione; dappoichè la economia animale non potendo da se sola creare alcuno elemento chimico, non può produrre nè l'idrogeno nè il carbonio con sostanze che ne fossero prive. Or se è provato che la grande quantità di ossigeno assorbito dall'animale nella sua respirazione, impiegasi quasi tutta a comporre una corrispondente quantità di acqua e di acido carbonico, gli effetti dunque degli apparecchi nervosi potranno aver la loro parte *mediata* solo nell'atto respiratorio, ma non mai nella creazione di quegli e di altri principii, i quali derivano tutti dagli alimenti e dall'aria che servono alla nutrizione e mantenimento della vita dell'animale.

I moti dunque nervosi, astrazion fatta dalle perturbazioni provocate nell'animale da certe azioni elettriche o magnetiche, sono più *effetto* che *causa* de' cambiamenti che succedono nell'organismo in generale, tanto nella metamorfosi chimica degli alimenti, che negli stessi prodotti dell'organismo che sono sotto l'efficacia dell'ossigeno assorbito durante la respirazione. E se è vero che ne' fenomeni organici l'azione de' muscoli può destar certa quantità di calore, nondimeno la cagione *immediata* di questo calore o di questo movimento vibratorio, stà sempre nella metamorfosi chimica degli alimenti, e delle stesse sostanze de'muscoli contratti. Il corpo dunque dell'animale non ha in se che una forza dominante come cagion prima di tutt'i movimenti interni, la quale risiede nella metamorfosi chimica delle materie alimentizie poste sotto l'opera dell'ossigeno, perchè quando quelle o questo manca, l'animale muore, e perciò i moti nervosi essendone più effetto che cagione si vedono cessare col finire l'attività vitale, come succede medesimamente in quelle piante che fossero prive delle stesse condizioni, cioè di ossigeno e del nutrimento necessario alle loro funzioni vitali.

Stringendo dunque le cose già dette su la produzione del calore animale, pare che due ora sarebbero le opinioni dominanti con le quali si è creduto darne meglio ragione. La prima è che esso derivi tutto da *forze organiche* differenti dalle *forze chimiche* le quali esse sole basterebbero a sviluppare tutto il calore animale; la seconda tenderebbe a sostenere esser quasi tutto prodotto dalle metamorfosi chimiche degli alimenti posti sotto l'opera dell'ossigeno assorbito durante la respirazione dell'animale. La prima ipotesi è puramente teoretica, perchè manca di dati sperimentali per darne ragione, la seconda poggia sopra fatti attentamente osservati. Ma per ritenere definitivamente l'una o l'al-

tra ipotesi, giova esaminare quale sia l' opera di quelle volute forze organiche, o dell' azione nervosa, quale quella delle azioni chimiche. Le prime potrebbero tutto al più operare *mediatamente* nella produzione del calore animale, ma la seconda, dopo i tanti dati sperimentali esposti, è fuori dubio che vi contribuisca *immediatamente*, e perciò essa è più causa che effetto de'moti nervosi. La sorgente del calore animale si contiene perciò intrinsecamente nelle mutazioni che succedono in tutt'i punti dell'organismo ove vi ha reticolo capillare, cagionate principalmente dalle metamorfosi chimiche, e se le forze organiche, o le azioni nervose contribuiscono anch'esse allo svolgimento del calore animale, ciò è perchè operano *sollecitando* o *ritardando* queste mutazioni. Pare dunque che le due ipotesi non possono stare separate, perchè l'una sostiene l'operare dell'altra, ed al contrario.

Calore prodotto dalle azioni meccaniche.

118. Le azioni meccaniche comprendono la *pressione*, la *percussione*, il *confricamento*. I corpi su i quali operasi possono essere *solidi*, *liquidi*, *aeriformi*, ed il calorico svolto dipende sempre dall' agitazione indotta con quelle azioni, da cui ne deriva un moto di vibrazione nelle molecole, il quale si comunica all'etere che trovasi negli spazii di que'corpi, e nel mezzo che li circonda.

La pressione opera debolmente sopra i corpi solidi e meno ancora su i liquidi, perchè il loro volume non prova diminuzioni molto sensibili. Essa opera assai più energicamente su i gas, perchè molto compressibili, e perciò capaci di svolgere più quantità di calorico; ma ove la pressione, per alcuni di questi, giugnesse sino a liquefarli, cesserebbe la produzione del calorico in quella ragione di prima. In ogni caso, la percossa, la compressione, e lo sfregamento comunicano sempre una certa quantità di moto al corpo percosso, compresso o sfregato, per cui le molecole si pongono in oscillazione, e danno luogo alle vibrazioni dell' etere circostante, dalle quali poi destasi più o meno calorico.

La produzione del calore per mezzo del martellamento, del confricamento, e del limare o forare col trapano i metalli; come il riscaldamento che provano gli assi delle ruote messe in moto più o meno celere; quello del ferro quando si batte su l'incudine ec. son di conoscenza volgare, come è pure il calor che destasi quando nel verno siam naturalmente sospinti a fregar fortemente una mano contro l'altra per riscaldarle. Destasi pure tanto calorico da accendere il legno quando si fa girare rapidamente un fuso di legno duro le cui estremità sono in contatto di un legno dolce; quando si percuote con l'acciarino una

pietra silicea, o dura più dello stesso acciaro, il cui calorico è tale da bruciar le molecole di questo metallo che sono distaccate dall' urto; fenomeno che è identico a quello che presentasi nel corso celere de' cavalli, quando i ferri de' loro piedi s' imbattono contro una pietra dura ec. Traendo una palla di cannone contro una pietra calcare, la parte percossa dalla palla trovasi dopo privata dell'acido carbonico e ridotta in calce, per l' alta temperatura prodottosi nel momento dell' urto. Codesti fenomeni si son derivati al calorico latente il quale svolgesi col mezzo del cambiamento di stato de' corpi, considerando il calorico, nel sistema dell' emissione, come nascosto negli spazii intermolecolari di essi e svolto solo per l'avvicinamento delle molecole. Veniva in appoggio di ciò, che quando un corpo solido è compresso, aumentando di densità, la temperatura s'innalza, e quando la percussione reiterata non più produce questo effetto, vi ha meno calorico prodotto. Il fatto osservato da Berthollet, il quale avendo percosso più volte una moneta vide decrescere rapidamente gli effetti termometrici, serviva soprattutto a sostener questa ipotesi. Ma molti fenomeni di calorico latente svolto con questi mezzi non permettono di spiegarsi con quel sistema, laddove riesce facile darne ragione con l' altro delle onde eteree. Così percuotendo il piombo su l' incudine, destasi calorico, ma la sua densità non si trova dopo punto cresciuta. Il conte Rumford nel forare una massa di bronzo con un puntaruolo, con celere moto di rotazione, avendo circondato di acqua la massa riscaldata per valutar la quantità di calorico prodotto, trovò che un decimetro quadrato della massa confricante, che faceva 32 giri per minuto, aveva dato in due ore 250 grammi di limatura, ed elevata la temperatura nell' acqua sino a $+ 100^{\circ}$, in 50 litri di questo liquido; e per conseguenza il calore della limatura, formata doveva sommare a 50000 gradi centigradi. Davy confricando due masse di ghiaccio l' una contro l' altra in un atmosfera poco al di sotto di zero, pervenne a ridurle in acqua. Or dopo i fatti premessi, volendo ritenere l' ipotesi di una materia reale calorifica tenuta latente ne' corpi, il fenomeno della compressione del piombo non potrebbe spiegarsi per l' avvicinamento delle molecole del metallo, perchè la densità di questo non trovasi punto alterata dopo il martellamento. Nella sperienza di Davy, il calore necessario per la fusione della neve non poteva provenire da'corpi confricati la cui temperatura era superiore a quella del mezzo ambiente, e perciò essi dovevano perdere, non ricevere calorico pel raggiamento di que' del mezzo in cui erano. Ma valendoci dell'ipotesi dell'ondulazione, basterà dire che la percossa genera agitazione nelle molecole de' corpi solidi, e quindi il lor moto vibratorio si comunica all' etere contenuto negli spazii del cor-

po ed a quello del mezzo che lo circonda e destasi calorico. Lo stesso dicasi per il fenomeno osservato da Rumford il quale non potrebbe spiegarsi per la compressione, perchè cagionando essa continuatamente distacco delle molecole del metallo, una volta prodotta nel cominciar l'esperienza, deve rimaner sempre la stessa. E di fatti osservasi in questo mentre, che le particelle della limatura non si trovano dopo punto osidate, ne' più dense del metallo da cui vengono separate; inoltre i corpi contigui ricevevano sempreppiù calorico dall'apparecchio senza che nel tempo della rotazione ne danno ad esso. Ed in ultimo tal riscaldamento non può anche ripetersi ad un minore calorico specifico della limatura ottenuta, paragonato con quello del metallo da cui proviene, perchè l'osservazione non dinota la più piccola differenza di calorico specifico fra essi. Nel fatto poi osservato da Berthollet, il piombo percosso dando continuamente calorico senza che la densità venga punto aumentata, deve esso ripetersi anche dalle agitazioni che la percossa suscita nelle molecole del metallo e da queste la vibrazione si comunica all' etere circostante. Il calore dunque che destasi con i mezzi meccanici non proviene da una *sorgente nota*; cioè da una materia calorifica contenuta ne'corpi percossi o stropicciati, ma esso è prodotto dal moto vibratorio che la percossa cagiona su le molecole elastiche del corpo.

119. Non solo il confricamento, la percossa e la pressione possono destar calorico ma anche ne'fenomeni di elasticità, ove vi ha similmente compressione ed agitazione fra le molecole, svolgesi abbastanza calore. Così quando si distende sollecitamente una sottile falda di gomma elastica che si tiene in contatto con le labbra, si vede produrre una quantità di calorico sensibile; ed ove lo sperimento ripetesi più volte sotto l'acqua, il termometro vi dinota egualmente aumento nella temperatura primitiva: la gomma elastica ritiene dopo lo sperimento la densità di prima, come succede del piombo percosso. Piegando e ripiegando nello stesso punto una lamina metallica, l' effetto è anche più sensibile ed il fenomeno dipende similmente dall'agitazione indotta nelle molecole elastiche della materia solida adoperata, per mezzo della tensione o del piegamento, e dal moto vibratorio da queste comunicato all'etere circostante, e perciò le onde che ne conseguitano, o i moti tremuli di quest' ultimo, sono la cagione della produzione del calorico.

120. La compressione dell'aria e degli altri fluidi aeriformi produce similmente calorico. Così quando si comprime l'aria nel fucile pnematico, il calorico svolto è tale da accendere l'esca postà nell'estremità dello stantuffo. In questo caso svolgesi ancora molta luce, sopratutto quando si opera col gas ossigeno invece dell'aria; ma la luce deriva, come lo ha osservato Thenard, dal-

la combustione della materia grassa contenuta nel cilindro del fucile, come succede per le molecole di acciaro che bruciano nell'aria quando si percuote una pietra focaja con questo metallo, perchè ove lo sperimento si facesse con le necessarie precauzioni, allontanando cioè l'intervento di ogni materia combustibile, ovvero comprimendo uno de'gas che non è capace di far bruciare i corpi, come l'azoto, l'idrogeno, ec. non ostante la presenza di queste materie, la luce non più si ravvisa. Lo stesso avviene per le scintille dell' acciaro, perchè facendo lo sperimento con un meccanismo di orologio sotto le campana di una macchina pneumatica, le scintille saranno visibili quando vi è l'aria, ma non appena fatto il vuoto, lo svolgimento della luce non avrà più luogo.

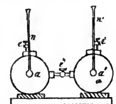
121. Lo stato di levigatezza o scabrosità delle superficie, come la omogeneità o eterogeneità de'corpi, sono atte sovente a destar più o meno calorico con gli stessi mezzi. Così di due corpi della stessa natura, ove uno fosse levigato e l'altro scabro, si troverebbe quest'ultimo più riscaldato dopo il confricamento. Che se poi i corpi fossero eterogenei, stando le stesse condizioni di levigatezza ovvero di scabrosità delle loro superficie confricanti, si vedrà, che de' due, il meno pesante riscaldasi sempre meno come avviene fra legno e metalli ec. in cui il metallo si troverà dopo il confricamento più caldo del legno.

122. Nella evaporazione de'liquidi e nella dilatazione de'gas, producendosi similmente oscillazioni nelle molecole di queste sostanze, vi ha vibrazione nell'etere circostante e cambiamento di temperatura. Così quando incontransi nello scavo delle miniere una massa di aria umida compressa, nell' uscirne fuora con empito, come essa imbattesi in un corpo solido, si vede il vopore mutarsi in liquido, ed anche congelarsi per l'abbassamento di temperatura, dovuto alla dilatazione rapida dell' aria. Può anche ciò provarsi direttamente comprimendo l'aria satura di vapore acqueo in un recipiente, e poi farla uscire per una piccola apertura, perchè mettendovi di rincontro al getto di aria una piccola sfera di vetro, si vedrà questa coverta da uno strato di ghiaccio.

Il freddo che producesi quando mettesi su la mano o su la palla di un termometro, l' etere solforico, uno de'gas liquefatti, ovvero altri liquidi assai volatili, deriva similmente dalla dilatazione di questi, e dalle oscillazioni delle molecole da cui ne conseguita il moto tremulo nell'etere circostante. Così può dirsi in generale che la compressione, che genera contrazione de'fluidi aeriformi, produce aumento nella loro temperatura primitiva, e la loro volatilizzazione, che cagiona dilatazione, l'abbassa più o meno sensibilmente.

123. Per provare Gay-Lussac che la contrazione de'gas desta

calorico, e la dilatazione freddo, sottoposo diversi gas allo sperimento, facendo uso di due recipienti di cristallo come quelli della figura qui sotto, in cui eranvi aggiustati al centro due sensibilissimi termometri ad aria *a a'*. I due recipienti comunicavano per mezzo di un condotto, ed erano separati quando si chiudeva la chiave *e'*. Fatto dapprima il vuoto in uno di essi, appena aprivasi la chiave, il gas contenuto nell'altro precipitavasi in quello che n' era privo e così i due termometri dinotavano le differenze avvenute nella loro temperatura primitiva, cioè che quello che era nel recipiente che conteneva il gas, per effetto della dilatazione di questo si abbassava, e l' altro chiuso nel recipiente in cui entrava il gas, segnava più gradi di caldo, perchè a misura che il gas vi si precipitava, si comprimeva urtando contro le sue pareti e destavasi calorico invece di freddo; ma appena l'equilibrio della densità del gas erasi ristabilito ne' due recipienti, i termometri segnavano la stessa temperatura.



L'apparecchio di Gay-Lussac voleva solo a provar la legge espressa, ma non a determinare in un modo abbastanza esatto la quantità di calorico che svolgesi per mezzo della contrazione, e compressione dell'aria, al che supplirono dopo Clément e Desormes con altro pressochè simile apparecchio.

124. Wollaston pervenne a produrre la congelazione dell'acqua in seguito di una vaporazione rapida di questo liquido. Già erasi ciò ottenuto sotto il vuoto della macchina pneumatica, mettendovi l' acqua in un piattino, e l'acido solforico concentrato in altro recipiente separato, per assorbire e condensare il vapore prodottosi nel vuoto. Stando così disposto l'apparecchio su la macchina pneumatica, estraendone l' aria sino a fare il miglior vuoto possibile, succede una non interrotta vaporazione dell'acqua, e per la dilatazione del vapore formatosi nel vuoto, la temperatura scema a poco a poco sino a mutarlo in ghiaccio. Ma l' apparecchio di Wollaston detto *crioforo* è assai più semplice, e consiste in un cannello alquanto largo di vetro che porta nelle sue estremità curvate ad angolo ottuso due palline vuote. Introdottavi in una di essa per la sua apertura capillare tant' acqua sino a riempirla a metà, rarefacendone prima l' aria, come si opera per introdurre il mercurio ne'termometri, si fa dopo bollir l'acqua per discacciar tutta l'aria e riempirne lo spazio vuoto col vapore formato, chiudendone subito con la lampada la estremità capillare da cui ne usciva il vapore. Così fatto lo strumento, si avrà un vuoto quasi perfetto nello spazio non occupato dall'acqua in cui si contiene solo il vapore acquoso. Vo-

lendo con esso aversi la evaporazione e congelazione dell'acqua, si mette in un bicchiere la palla vuota e si circonda con un mescuglio di neve e sal comune, lasciando all'aria l'altra che contiene l'acqua. L'evaporazione dell' acqua allora succede rapida, e non appena decorso qualche minuto si vedrà l'acqua già rappigliata in ghiaccio, ed il vapore che arriva nell' altra palla si congela anch'esso su le pareti interne del vetro.

Ne'due sperimenti citati, trovandosi nel primo l' acqua nel vuoto, tolta dalla pressione atmosferica, tende incessantemente a ridursi in vapori, e se non vi fosse l'acido solforico, o altra sostanza sommamente igrometrica, il vapore dapprima formato, supplirebbe alla pressione atmosferica, e la evaporazione dell'acqua cesserebbe di aver luogo; ma assorbito il vapore come si produce, il vuoto è conservato, e la evaporazione ripetuta. Ne succede quindi raffreddamento nell' acqua per l'assorbimento continuo che ne fa di calorico quella parte che si riduce in vapore, e così prosegue fino che cambiasi in ghiaccio. Nel secondo sperimento il vapore che stà nello spazio vuoto dello strumento è condensato nella pallina immersa nel mescuglio frigorofico, e così la vaporazione dell' acqua nell'altra pallina si ripete allo stesso modo che nel primo apparecchio posto sotto la campana della macchina pneumatica, perchè i due modi di operare tendono a conservare il vuoto per agevolar la evaporazione dell' acqua, condensando in una il vapore col mezzo della sostanza igrometrica, cioè l'acido solforico, nell' altro direttamente col mescuglio frigorofico. La dilatazione dunque prodottasi ne'due casi per mezzo del passaggio dell'acqua da liquido a vapore, è cagione della produzione di freddo, come lo è poi la contrazione o la compressione de'fluidi elastici e de' solidi, dell'innalzamento di temperatura.

In questi fenomeni il potere conduttore de'fluidi elastici dipende dalla grande mobilità delle loro molecole, la quale non viene punto alterata dalla forza di coesione, perchè questa si considera nulla ne'gas. La mobilità dunque più o meno grande di queste molecole, deve essere relativa alla massa loro, o meglio, seguire la densità de' gas con la quale aumenta la loro inerzia o la forza necessaria per imprimere alle loro molecole la stessa velocità, al che poi debbe ripetersi l'ineguaglianza degli effetti prodotti quando i gas si riscaldano o si raffreddano, la quale è indipendente dalle differenze di capacità ne'diversi gas. E perciò osservasi che i gas i più mobili, come l'idrogeno presentano maggiori variazioni di temperatura dell'aria, perchè esso cede più rapidamente a' corpi co'quali viene in contatto, il calorico che gli è necessario o eccedente, affinchè la sua temperatura si trovi in equilibrio con quella degli stessi corpi.

Calore prodotto dalle azioni molecolari nel semplice contatto de' corpi.

125. Le cagioni che determinano la produzione di calorico nelle azioni chimiche, hanno attenenza con le affinità chimiche, perchè vi ha sempre combinazione fra i corpi, ma quelle nelle quali destasi similmente calorico senza combinazione, debbono ripetersi ad altra cagione, comunque sia difficile potersi a prima vista precisare. Berzelius aveva introdotto nella scienza una novella forza ignota, che chiamò *catalittica*, per dare ragione di alcuni fenomeni ne'quali l'opera delle ordinarie affinità chimiche sembrava non prendervi parte. Ma introdurre una forza ignota può solo soddisfare momentaneamente lo spirito, non convincerlo su la vera cagione di que'fenomeni; e perciò essa deve reputarsi come pregiudizievole anzi che utile pe' progressi della scienza, dappoichè trascina seco la noncuranza a poterla un giorno disvelare. Nondimeno i fenomeni onde Berzelius volle introdurre quella nuova forza, possono spiegarsi per un' azione di contatto de'corpi, la quale suscita sia le elettricità contrarie degli stessi corpi per facilitare alcune combinazioni, sia una quantità sufficiente di calorico perchè queste abbiano luogo, ovvero il semplice innalzamento di temperatura senza combinazione. Le numerose ed importanti sperienze fatte da Pouillet sul contatto de'liquidi sopra i solidi, e su le polveri di materie tanto inorganiche che organiche, possono darci qualche ragione de' fenomeni di contatto e delle azioni molecolari o dipendenti dalla capillarità, nelle quali vi ha produzione di calorico senza combinazione chimica. Così versando egli un liquido sopra un corpo solido qualunque in polvere o in piccoli frammenti, ebbe svolgimento di calorico, e nelle sostanze organiche la temperatura si alzò sino a + 10°. Il vetro, i metalli, alcuni ossidi, bagnati con acqua, alcool, o con olii, svolgevano anche calorico, ma questo faceva alzare il termometro appena di un quarto ad un quinto di grado. Leslie aveva già conosciuto che quando circondasi con una pezzolina la palla di un termometro e poi si bagna con acqua, la temperatura è sensibilmente innalzata nel termometro.

126. Immergendo nell'acqua o in altri liquidi la palla di un termometro ad aria, si vedrà prima abbassare pel calorico svolto, e poi tornare nel punto in cui era prima della immersione, per la perdita che fa della piccola quantità di calorico che erasi fatto libero, e prodotta la dilatazione nel vetro. I risultamenti variano col variar la natura delle sostanze. In generale per rendere sensibili maggiormente gli effetti del calorico nell'istante in cui il liquido bagna il solido, perchè la capillarità possa meglio

operare, bisogna che le sostanze sien ridotte in polvere a fin di moltiplicare i punti di contatto del liquido col solido. La superficie può supplire alla divisione meccanica, come è il caso sopra esposto della sfera del termometro ad aria, nella quale la temperatura aumenta con la grandezza della sfera; ma per i solidi riuscirebbe difficile osservare per mezzo di una più estesa superficie l'innalzamento di temperatura con i termometri ordinarii. Forse gli apparecchi termo-elettrici potrebbero meglio comprovare i fenomeni che hanno stretta attenenza con la capillarità, dappoichè nell'assorbimento di un liquido in un tessuto organico secco, vi ha sempre produzione di calorico. Il carbone, l'amido, le cortecce, la seta, la lana, i capelli, le membrane, la spugna ec., abbastanza secche, svolgono anche calorico quando si bagnano con acqua, alcool, olio, ed etere acetico: con ciò la temperatura non alzasi più di 1 grado, ed è presso a poco la stessa in tutte queste sostanze.

127. A questi fenomeni di contatto potrebbe aver ragione anche quello osservato da Doebereiner, e che disse *ignizione spontanea*. Avendo egli posto il platino spongioso in contatto col mescuglio d'idrogeno e di ossigeno, vide il primo farsi rovente, e detonare il secondo. Lo stesso succede nelle lampade a gas idrogeno, nelle quali un getto di questo gas infiamma quando viene in contatto con un pezzetto di platino spongioso. Il medesimo effetto io ottenni più prontamente l'anno appresso (1), adoperando la carta bruciata su cui aveva spalmato il precipitato ottenuto scomponendo la soluzione di cloridrato di platino con quella di sale ammoniaco. La porosità del carbone della carta su cui era immensamente diviso il platino ridotto, accelerava maggiormente lo svolgimento di calorico, l'arroventamento del platino e del carbone, e l'infiammazione dell'idrogeno, o la detonazione di questo mescolato all'aria, ovvero al gas ossigeno. Dulong e Thénard molto dopo adoperarono qualche altro metallo allo stato anche di divisione convenevole, che posero in contatto di altri gas, e se non ebbero l'arroventamento di que'metalli, nondimeno la temperatura in essi videsi così innalzata, da poter dedurne che l'effetto era identico a quello ottenuto col platino e l'idrogeno.

La chimica ci presenta infiniti altri fenomeni dipendenti dalle stesse azioni molecolari prodotte da contatto di altri corpi, senza che ne risultino combinazioni come quelle che derivano da pure azioni chimiche, cioè dalle affinità ordinarie. Sovente vediamo in alcuni composti ne'quali le affinità de'componenti so-

(1) V. *Giornale di Scienze Lettere ed Arti* per la Sicilia N.° XXVI, febbraro 1825 p. 115 — *Rivista generale di scienze, lettere ed arti ec.* Napoli, fasc. 1°, 1825, pag. 391 — *Medicinische-chirurgische Zeitung herausgegeben*, von I. D. J, vol. 1°. p. 391 del 1825.

no assai deboli, separarsi col semplice contatto alcuni de' suoi principii, senza che gli altri si combinino con quello che li ha discacciati, come succede de'composti e delle polveri fulminanti, dell'acqua ossigenata posta in contatto di alcune sostanze.

128. I fenomeni dell'elettricità svolta per semplice contatto, potrebbero anche concorrere a dare ragione della produzione di calorico in tutte queste azioni molecolari, sapendo ora che non vi ha fenomeno di contatto, molecolare e chimico che non ripeta la sua origine dallo stato elettrico de' corpi, e la sola diversa intensità delle polarità elettriche degli atomi elementari, e di quelli composti può cagionare le tante varietà infinite; dappoichè le stesse affinità chimiche dipendono dallo stato elettrico de' corpi, e la cagione dell'attrazione, sfuggita dapprima alle ricerche di Newton, viene ora in generale attribuita alla elettricità, essendo i fenomeni delle affinità elettriche identici con quelli delle affinità chimiche che si hanno co' mezzi ordinarii, cioè con i reagenti chimici, come più ampiamente diremo nella sposizione degli effetti chimici delle pile voltaiche, essendo ora provato col mezzo del moltiplicatore di Schwaiger, che in ogni azione chimica svolgesi sempre elettricità. E perciò basterà per ora conoscere, che la nuova teorica *elettro-chimica*, stabilita sopra numerosi fatti, ha per base gli effetti elettrici che accompagnano tutte le combinazioni e scomposizioni chimiche. Essi provano evidentemente:

1. Che ci ha delle correlazioni intime tra le affinità e le forze elettriche, correlazioni che servono ora di base a tutta la dottrina elettro-chimica;

2. Che i due fluidi stanno negl'interstizii de'corpi allo stato di elettricità naturale, o combinata, e che ne sono espulsi nello stesso tempo che il calorico per effetto delle azioni chimiche, meccaniche, molecolari, capillari, e ne' fenomeni di semplice contatto. Lo stato elettrico in cui passano i corpi durante queste azioni, modifica senza interruzione le affinità e le proprietà primitive de'corpi.

3. Che vi è una quantità enorme di elettricità negli spazii intermolecolari de' corpi ove si operano i fenomeni più misteriosi della natura e quelli che producensi con le azioni esposte, quantità talmente identificata con le forze che uniscono le molecole, che queste si distruggono o s'indeboliscono ogni volta che si toglie tutta o parte di questa elettricità. Se dunque la elettricità non costituisce essa le affinità e la forza di aggregazione, è nondimeno indispensabile alla loro esistenza, e perciò fa presumere essere essa stessa la cagion prima di questi fenomeni.

4. Che l'ipotesi antica, che il calorico cioè fosse formato dalla riunione delle due elettricità, sussiste ancora, e poggia sopra

fatti assai concludenti. Il perchè deducesi, che il calorico che destasi nelle azioni molecolari, nella capillarità, ne'fenomeni tutti di contatto, quando non vi ha effetti di un' azion chimica, può derivare dalla stessa elettricità intermolecolare. In ultimo, potendo l'elettrico apparir sotto forma di luce e di calorico, e produrre tutt'i fenomeni delle affinità chimiche, la creazione della voluta forza catalittica rimane puramente aziosa. V. al vol. 1 la nota apposta alla pag. 38.

Calore prodotto dagli effetti termochimici che risultano dalle affinità chimiche.

129. Ne' fenomeni di contatto abbiam veduto come può destarsi calorico. Le azioni chimiche presentano ad un tempo fenomeni di *contatto*, di *reazione*, e di *combinazione* de' corpi, e perciò le quistioni *termochimiche* divengono più complesse, perchè vi ha delle azioni che tendono a crescere, altre a diminuire la temperatura de'corpi.

Nell' operare le affinità chimiche, l'elettricità prendendovi la sua parte principale, e potendo da se sola produrre calorico, luce, e le combinazioni, i fenomeni tutti termochimici debbono avere anch'essi correlazione con quelli detti *termo-elettrici*, che riguardano cioè il contatto e non la combinazione. La produzione degli effetti calorifici, quando due o più corpi fan reazione dopo il loro contatto, dipenderà dalla energia con cui operano le affinità, o con cui le contrarie elettricità svolte si combinano; dalle capacità calorifiche de' corpi in azione, da quelle de'composti che ne risultano, e dallo stato solido, liquido, ovvero gassoso che questi ultimi assumono col cessar l' opera delle affinità che li ha formati.

Nella teorica dell'emissione ammettevasi essere il *calorico combinato* che svolgevasi nella combustione, e nelle altre azioni chimiche; dappoichè il calorico latente rendevasi libero mediante le sole azioni meccaniche. Ma volendo conciliare il fenomeno con la teorica dell' etere, considerati gli atomi de' corpi separati sempre da spazii più o meno grandi, e che hanno in conseguenza libero movimento, tenuti solo in equilibrio mediante certe forze attraenti e repellenti, egli è chiaro che ogni azion chimica deve alterare l'equilibrio di siffatte forze, e cagionare una serie di oscillazioni molecolari da cui ne derivano le vibrazioni dell' etere interposto, e di quello che li circonda, e quindi la produzione di calorico.

Esamineremo particolarmente l' azion chimica che accompagna la combustione, e le diverse ipotesi che si sono emesse per dare ragione della quantità di calorico e di luce che svolga-

no i corpi quando si combinano a quello che la promuove, e la differenza che accorre fare fra *fuoco* e *fiamma*.

Combustione.

130. La quantità più prodigiosa di calorico che destasi nelle azioni chimiche, è quella che producesi durante la *combustione* de'corpi. La cagione dello svolgimento di questo calorico fu per lungo tempo un mistero, e tanto i fisici che i chimici fecero varie ipotesi affin di darvi una qualche ragione.

Ammesso dapprima da Hocke nel 1665 un fuoco abbruciante nell'aria che fissavasi ne' corpi durante la loro combustione, fu questo definito da Majow esser lo stesso di quello fissato nel nitro, e perciò lo disse *spiritus nitro-aereus*. Becher ebbe a ricorrere ad una *terra infiammabile*, ma Sthal, suo discepolo, lo prevenne, e si acquistò maggior fama coll' ammettere il fuoco, che chiamò *flogisto*, stare ne' corpi, e l' aria servir solo a riceverlo. Quindi chiamò *flogisticati* que'corpi che potevano bruciare, e *deflogisticati* quelli naturalmente bruciati, o che avevano perduto il flogisto, ed in conseguenza non più capaci di bruciar nuovamente. La teorica di Sthal, comunque la più erronea delle altre prima intentate, ebbe infiniti seguaci. Ma fatto notare da Maquer, che il fuoco non essendo altra cosa che calorico e luce, il flogisto diveniva esso stesso calorico e luce. Or poichè Newton e Black avevano già distinti separatamente questi due fluidi imponderabili, non era ragionevole farne di essi un terzo corpo, e dirlo *flogisto*. Sparso così questo dubbio su la essenza della cagione della combustione, Lavoisier osservò dopo, che quando i corpi bruciavano, essi aumentavano invece di diminuir di peso; il perchè l'ammissione del flogisto ne' corpi diveniva assolutamente erronea. Le numerose sue sperienze valsero meglio a fondare la sua teorica, che fu detta *antiflogistica*; nella quale accagionavasi alla fissazione e condensazione dell' ossigeno su i corpi in combustione, tutto il calorico che essi manifestavano; e quantunque se gli opponesse, che questa teorica non dava ragione dello svolgimento della luce, Lavoisier vi rispose, che essa derivava dalla condensazione dello stesso ossigeno dell' aria che serviva alla combustione.

Ma poichè si scopriron dopo altre combustioni nelle quali l' ossigeno non vi prendeva parte, come in quella fra solfo e metalli ec., o che alcùna condensazione avveniva nello stesso ossigeno, come nella combustione del carbone in questo gas, anche questa teorica divenne insufficiente a dare ragione della cagion prima dello svolgimento di calorico e luce che avveniva ne' corpi nell' atto della loro combinazione. Davy e Berzelius,

riprendendo quindi l'esame di questo fenomeno, lo considerarono come dipendente da pura cagione elettrica, paragonandolo alla scarica del fulmine ec. La combustione allora sarebbe un arroventamento prodotto dalla combinazione delle elettricità de' corpi eterogenei posti in contatto, la quale differisce dal semplice arroventamento di alcuni corpi omogenei, come oro, vetro, platino ec., solo perchè questi raffreddati, conservano le primitive qualità fisiche e chimiche, e gli altri, cioè gli eterogenei, le perdono tutte o in parte, e ne assumono altre affatto differenti con la combinazione avvenuta per effetto del loro abbruciamento.

Così quando nella combinazione delle due elettricità vi ha produzione tale di calorico, da innalzar la temperatura de'corpi che si combinano sino all' incandescenza, allora succede la *combustione;* ed ove la temperatura non giugnesse a questo grado si avrebbe la *combinazione* semplicemente di que'corpi, essendo l'una e l' altra sempre dipendente dalla stessa cagione, cioè dalla neutralizzazione delle particolari elettricità di que'corpi. In siffatto modo spiegato il fenomeno della combustione, tutte le difficoltà che offerivano le altre ipotesi vennero sciolte, e le ragioni volute su la cagione dello svolgimento del calorico e della luce sono ora date dalla luce e dal calorico che accompagnano la elettricità libera, come manifestasi nella scarica del fulmine, della batteria elettrica ec., in cui gli effetti sono calorico e luce, arroventamento, fusione, combinazione di elementi, e quanto altro offeriva la stessa combustione. Il perchè la distinzione in *corpi comburenti* o *abbrucianti*, detti ancora *sostegni di combustione*, divenne solo convenzionale, perchè in circostanze date, tutt'i corpi possono essere ora *comburenti* ed ora *combustibili*. Così lo zolfo che fa abbruciar molti metalli, funziona da comburente, e quando esso brucia nell' aria o nell'ossigeno diviene combustibile ec.

La nuova teorica dunque, perchè meglio spiega il fenomemo sì lungamente posto in quistione, è stata generalmente adottata. Rimane ora solo aggiugnere, come può conciliarsi anche con la teorica dell'etere la spiegazione dello svolgimento di sì enorme quantità di calorico e di luce, sopratutto nelle combustioni con fiamma. La ragione qui ne è data allo stesso modo che quella del calore centrale; dappoichè nel contatto de'combustibili con i comburenti, nell'operarsi le azioni elettro-chimiche che ne determinano la combinazione, si produce una immensa agitazione nelle molecole ponderabili e nell'etere interposto e circostante, da cui ne risulta il calorico luminoso ad un grado più o meno intenso, secondo il grado di energia con cui operano le reciproche affinità de' combustibili con i comburenti, da cui ne conseguita quello del moto dell'etere. Così le

combustioni nell'ossigeno sono più vive di quelle nell'aria, perchè in quest' ultima l' ossigeno è già combinato ad altro corpo, cioè all' azoto, e l' energia dell'affinità del comburente col combustibile viene indebolita dal grado di affinità con cui il primo trovasi unito all' azoto. In ogni caso, durante la combinazione del combustibile coll'ossigeno, o con altro comburente, si produce nelle molecole ponderabili una vivissima vibrazione la quale si comunica alle molecole del corpo termoscopico immerso nella sorgente, e costituisce il *calore di contatto*, o passa nell'etere circonfuso, il quale la trasmette a' corpi lontani, e forma il *calorico radiante*.

Della fiamma.

131. Le quistioni agitate sopra la differenza che doveva farsi tra *fuoco* e *fiamma*, indussero Davy ad intraprendere uua serie di ricerche su la fiamma, dalle quali conchiuse, esser questa una materia gassosa riscaldata al punto da divenir luminosa, e che la sua temperatura sorpassava quella del calor bianco dei corpi solidi. Provò egli ciò facendo vedere che l'aria senza esser luminosa può comunicare questo grado di calore ad un filo sottile di platino, tenendolo alla distanza di un ventesimo di pollice dalla fiamma di una lampada ad alcool, covrendo con sottile diaframma opaco la fiamma : il filo diverrà rovente ancorchè si trovi in un luogo in cui non vi ha luce visibile.

In siffatto modo venne spiegata la distinzione che doveva farsi tra *fuoco* e *fiamma*, considerando il primo come il grado di temperatura che determina l'arroventamento al rosso de'corpi, e la seconda quello del massimo di temperatura a cui possono, anche dopo l' arroventamento al bianco portarsi i corpi. E difatti ognun sa, che un carbone incandescente non ha abbastanza calorico per accendere una candela, la carta, la paglia ec.; e che ciò esso produce solo quando vi si spinge sopra con forza la corrente di aria sino a produrvi fiamma. Lo stesso dicasi di un metallo arroventato al rosso ciliegio, che opera come il carbone senza fiamma, e di quello arroventato al bianco, che in molte circostanze produce l'effetto della stessa fiamma. Attinti così Davy i due gradi *massimi* e *minimi* di temperatura, cioè fra l'arroventamento al bianco e quello al rosso, o fra la combustione con fiamma, e la combustione senza fiamma, pervenne per una sottrazione convenevole di calorico nella prima, alla scoperta della *lampada senza fiamma*, ed a quella che dicesi di *sicurezza* o *lampada de' minatori*.

132. Egli è noto, che la fiamma di una candela di sevo presenta tre parti distinte, cioè una luce bianca negli estremi, un'ombra nel mezzo, ed una luce rossa nell' apice. Portando

successivamente Davy un filo di platino in queste diverse parti, provò che nell'esterno il filo si arroventava, nel mezzo veniva appena riscaldato, e nell'apice l'arroventamento era più pronto che nell'esterno. Egli portò anche in mezzo la fiamma pochi grani di polvere da cannone, posti su laminetta di platino, e l'accensione non ebbe luogo. La temperatura dunque della fiamma è massima nell'apice, ove vi arriva una quantità di materia solida (il nerofumo), decresce nell'esterno in cui vi è il gas infiammabile, che deriva dalla scomposizione della sostanza che alimenta la fiamma, ed è minima nel mezzo, ove arriva questa sostanza in forma di vapori, ma non alterata, cioè non ridotta in gas infiammabile.

Proseguendo Davy le sue ricerche, conobbe che un filo sottile di platino avvolto in una stretta spirale, fatto dapprima rovente su la fiamma della lampana ad alcool, e tuffato sollecitamente in un bicchierino stretto ed alto, in cui aveva messo un poco di etere solforico, operando al bujo, quando il metallo era a poca distanza dell'etere, vide svolgersi una luce azzurra, e farsi la incandescenza del metallo più viva di prima. Crescendo dopo Davy il diametro nel filo di platino, e reiterando allo stesso modo lo sperimento, vide infiammarsi l'etere; cosicchè potè egli dedurre, che l'etere e l'alcool possono presentare due combustioni, cioè una *lenta*, che è capace di tenere rovente il sottil filo di platino, ed un'altra *rapida*, che mantiene l'etere e l'alcool infiammati. La temperatura dunque che serve all'arroventamento de' corpi è inferiore a quella che deve portarli al punto d'infiammarli (1). Fu dietro questa osservazione che il fisico inglese pervenne alla scoperta di una *lampana senza fiamma*, la quale consiste in una lampana ordinaria ad alcool, sul cui luccignolo situasi verticalmente una spirale lunga circa un pollice, fatta con sottil filo di platino: basta accendere il lucignolo, attender che la spirale si arroventi, e spegner la fiamma, covrendola con un bicchierino, perchè si

(1) Dietro questa osservazione spiegasi un fenomeno che a prima vista sembra paradosso. Esso consiste nell'avvolgere in un pezzo di carta una palla di piombo del peso di un'oncia, così esattamente che non vi resti aria quasi affatto nell'interno di essa: fattovi dopo un piccol foro sotto della carta con un ago, si espone la palla così preparata poco sotto l'apice della fiamma della candela di cera o di sevo. Si vedrà dopo qualche minuto fondersi il piombo e colar pel piccolo foro fatto su la carta. Ciò dunque prova, che la temperatura che occorre per fondere il piombo, è inferiore a quella che può accendere la carta, e quantunque la fiamma della candela abbia questo calore necessario per produrre l'ultimo effetto, perdendone essa per l'assorbimento che ne fa il piombo, può fonder questo, ma non infiammar la carta.

Lo stesso succede quando con una tela sottile qualunque si copre la superficie convessa di un oriuolo di oro o di argento dalla parte del metallo, tenendonela ben distesa ed esponendola, per qualche istante su la fiamma di una candela, perchè sottraendo il metallo una quantità di calorico, si vedrà la tela annerita, ma non bruciata.

vedrà dopo proseguire l'incandescenza del platino sino che vi ha alcool nella lampana (1). Tanto nel primo che nell'altro sperimento, l'arroventamento del filo metallico avveniva per la lenta combustione ascendente dell'alcool su la spirale del filo metallico.

133. Fatti questi primi passi, fu facile venire a scoperte di maggiore importanza. E volendo Davy sapere quale temperatura bisogni per accendere alcuni gas infiammabili, si valse, per misura di temperatura, di fili di ferro di diametro differente. Così un filo di $\frac{1}{40}$ di pollice di diametro, ed anche meno, accende il gas idrogeno, ma non il gas idrogeno protocarbonato; e quello di maggiore spessezza che accende questo, non infiamma il gas idrogeno bicarbonato. Provò egli in siffatto modo che la temperatura necessaria per accendere un gas, cresce con la quantità di materia fissa che esso tiene allo stato di vapori, come è il carbone ne' due gas mentovati, e nel vapore di etere, che si compone di volumi eguali di vapore di acqua ed idrogeno bicarbonato; lo zolfo nel gas idrogeno solforato ec.

Per tali fatti si rende facile spiegare il perchè quando si brucia una corrente di gas idrogeno bicarbonato, ovvero quella del vapore di etere, la luce è assai più viva di quella che dà l'idrogeno semplice e l'idrogeno protocarbonato, o quando i primi sono mescolati ad una quantità di aria che la rendono più debole. Nel primo caso del gas e del vapore di etere, si depone nell'interno della fiamma una quantità di carbone che fa le veci della materia fissa, e nell'ultimo non vi ha che la semplice combustione della sostanza gassosa.

Acquistati tali dati, passò Davy ad esaminare l'accensione con iscoppio che succede nell'apparecchio conosciuto sotto il nome di *candela filosofica*, quando cioè non si è attenti accendere il getto di gas idrogeno nella estremità capillare del cannello, dopo che l'aria della boccia ne è tutta uscita. Prolungando egli il cannello ad oggetto di raffreddar la fiamma, che pel più lungo cammino che doveva fare per giugnere nel serbatojo, doveva spegnersi, ebbe difatti, che l'accensione del mescuglio detonante contenuto in quest'ultimo, non più avveniva. Conoscendo egli dover essere la quantità di calorico necessario all'accensione del gas nel rapporto della sua massa, diminuì della metà la lunghezza ed il diametro del cannello, ed il risultamento fu conforme a quanto avevane dedotto dalla teorica, perchè l'accensione del mescuglio detonante contenuto nel serbatojo,

(1) Non appena questa scoperta fu annunziata presso noi, che in mancanza di fili di platino, adoperai fili sottili di rame inargentato, come que' che servono a covrire le corde di seta di chitarra, ed ottenni gli stessi risultamenti (V. il mio *Corso elementare di chimica* del 1823, vol. 1, p. 192.)

non ebbe più luogo. E proseguendo in siffatto modo, diminuendo cioè la lunghezza ed il diametro nella stessa ragione di prima, pervenne, dopo il calcolo, a formare un tessuto di sottilissimo filo metallico, che aveva per ogni pollice quadrato 750 aperture, cosicchè la spessezza del filo rappresentava l'altezza del cannello, e le aperture della rete il suo diametro. La qual rete avendo egli posta sopra l'orlo di una boccia in cui aveva introdotto il mescuglio per avere il gas idrogeno, cioè acqua, limatura di ferro, ed acido solforico, accostando la fiamma di una candela su la superficie della tela metallica da cui usciva il gas, vide che questo bruciava, ma la fiamma non passava nella boccia, e quando alzavasi la tela, la fiamma spegnevasi senza che il gas di sotto ne restasse acceso. Ma una tela che lascia passare alla temperatura ordinaria la fiamma dell'idrogeno semplice, intercetta quella dello spirito di vino, la quale non vi passa se non quando la tela è prima fortemente riscaldata. Lo stesso succede per l'idrogeno bicarbonato e per lo vapore dell'etere, i quali domandano maggior quantità di calorico per accendersi.

134. La densità dell'aria ha molta opera su la intensità della fiamma. A provar ciò Davy pose la candela filosofica sotto la campana della macchina pneumatica, ed a misura che ne estraeva l'aria, vide la fiamma prima dilatarsi, poi impicciolire, ed in ultimo spegnersi, quando l'aria era diminuita di 7 ad 8 decimi del volume primitivo. Ma quando reiterò lo sperimento, mettendo una spirale di platino in mezzo la fiamma, osservò che non appena cominciavasi a fare il vuoto, il filo di platino diveniva rovente al bianco, e così mantenevasi anche quando la rarefazione dell'aria nella campana giugneva sino a' $\frac{9}{10}$; e quantunque la fiamma fosse dispersa, nondimeno l'incandescenza del metallo proseguiva ad aver luogo come nella lampana senza fiamma, a differenza solo, che dal calor bianco esso diveniva rosso scuro, e questo non spariva del tutto se non quando la rarefazione era spinta quasi sino a fare il vuoto nella campana. Così Davy provò, che il filo metallico opera come quanto immergesi rovente nel vapore dell'etere, perchè esso mantiene nel gas idrogeno che svolgesi dalla candela filosofica una temperatura sufficiente per tenerlo in lenta combustione, la quale basta per sostenere l'arroventamento di esso.

Osservò ancora Davy, che l'abbassamento di temperatura è sempre proporzionale alla picciolezza delle aperture della tela metallica, ed al diametro del filo con cui è fatta; dappoichè il potere del tessuto su la fiamma dipende dal calore necessario per produrre la combustione della sostanza gassosa con cui viene in contatto, posto in confronto con quello che acquista il tessuto medesimo; e perciò la fiamma prodotta da sostanze gas-

sose più infiammabili, cioè di quelle che danno più calorico durante la loro combustione, deve passare attraverso il tessuto metallico che intercetta la fiamma delle sostanze gassose meno ossigenabili, cioè di quelle che sviluppano meno calorico nella loro combustione: così ancora uno stesso tessuto che alla temperatura ordinaria non dà passaggio ad alcuni gas infiammati, lascia poi passarli quando il tessuto fosse prima riscaldato. E di fatti le tele metalliche comunque abbiano picciolissime aperture, non valgono ad impedire il passaggio alla fiamma del mescuglio di ossigeno ed idrogeno con cui formasi l'acqua, e ciò succede anche quando si mettono molti doppii della stessa tela, perchè in Inghilterra, essendosi fatto un cannello per adattarlo come apparecchio di sicurezza nel cannello ferruminatorio di Newmann a gas ossigeno ed idrogeno compressi, come diremo più innanzi, non si potè impedir che la fiamma accendesse i due gas nel serbatojo e li facesse detonare.

135. La luce che manifestasi nella combustione de' corpi solidi è sempre nella superficie. L'aria e tutti gli altri gas incombustibili non diventano luminosi a qualunque temperatura, e quelli che sono infiammabili diventano luminosi, ma anche nella superficie, perchè ivi solamente il gas trovasi in contatto coll'aria. Lo stesso avviene pe' corpi solidi combustibili ridotti in vapori, perchè la combustione succede similmente su la superficie del vapore, e perciò il luogo della combustione di un gas sta nell'inviluppo della fiamma. Così quando mettesi una tela metallica orizzontalmente in mezzo la fiamma, si vedrà che il tessuto metallico non fa passarla sopra, e se da ivi osservasi nella direzione perpendicolare al centro della stessa fiamma, si vedrà questa parte compiutamente oscura.

136. La lunghezza della fiamma è il cammino percorso dal gas infiammato. Le correnti di aria a misura che aumentano, la lunghezza diminuisce. Così quando il cammino di un *quinquet* si prolunga maggiormente, crescendo la corrente dell' aria con l' altezza, si vede scemar la lunghezza della fiamma. In questo caso l' aria fredda abbassando la temperatura del gas o del mescuglio gassoso infiammabile, ne fa bruciar meno, e solo quello che è più prossimo al centro del massimo suo riscaldamento, ove la rarefazione dell'aria ha meno opera sul gas infiammato. Si ha lo stesso effetto stringendo l' apertura che sta sotto la fiamma, perchè entrandovi minor volume di aria, la fiamma si vede prolungare maggiormente, quantunque il cammino si facesse molto lungo. Questo effetto spesso è mestiere applicarlo nelle arti, perchè esso ha opera quando vuole allungarsi ovvero accorciarsi la fiamma ne' cammini, col solo diminuire o crescere l'azione della corrente dell' aria.

137. Allorchè la massa de' gas infiammati è troppo grande,

la combustione si fa meno viva, e la più parte ne scappa fuora della stessa fiamma senza accendersi; dappoichè la parte centrale della fiamma trovasi ad una temperatura troppo bassa quando arriva alla distanza in cui trovasi in contatto dell'aria. Perciò prima della scoperta de' *quinquet* dovuta ad Argant, si adoperavano nelle lampane lucignoli assai piccoli. Ora con l'uso de'cammini di cristallo possono adoperarsi lucignoli di grandi dimensioni ed annulari semplici o multipli, perchè l'aria essendo introdotta di sotto il cammino, stabilisce due correnti, una nell'interno, l'altra nell'esterno del lucignolo, ed in cui la velocità della corrente dell'aria trovasi accelerata per l'effetto del cammino. In siffatto modo si è pervenuti ad avere una combustione più viva ed una luce più intensa. Ma la scoperta delle *lampade Carcel*, cioè a corrente continua di olio sul lucignolo, ed in cui il cammino era fatto sul principio esposto (§ 136), cioè stretto nella parte ove l'olio è ridotto in gas infiammabili, così questi bruciano meglio, perchè elevandosi ivi più la temperatura, s'impedisce che la più parte di que'gas vengano trascinati dalla corrente di aria senza infiammarsi: e perciò la luce delle *lampade Carcel* è maggiore di quelle dette di Argant. Ma conosciutosi ora tal ragione, apponendo alle ultime i cammini come quelli delle prime, si è ottenuto presso a poco lo stesso effetto.

Medesimamente dicasi di tutte le altre lampade nelle quali con mezzi qualunque, come in quelle immaginate da Robert e da altri, si perviene a stabilire una corrente continua di olio sul lucignolo.

138. La direzione della fiamma è naturalmente da basso in alto su la stessa verticale, a cagione dell'alta temperatura che essi acquistano dapprima e durante la loro combustione; ma dovendo la fiamma seguire le leggi de'fluidi, una tal direzione può esser modificata da quella della corrente di aria; ed in conseguenza la fiamma può essere inclinata di una quantità qualunque all'orizzonte, ed anche diretta in senso inverso, cioè da alto in basso.

139. Quando la combustione di un gas infiammabile è compiuta, la quantità di calorico svolto è sempre la stessa per la medesima quantità di materia combustibile. Essa è parimenti la stessa quando la combustione si effettua coll'aria, sotto una pressione più grande o più piccola, ed anche quando essa succede nello stesso gas ossigeno separatamente. Essa varia solo da un combustibile all'altro; ma la luce al contrario, per lo stesso combustibile, per lo consumo della medesima quantità nello stesso tempo, varia con le circostanze che accompagnano la combustione, e specialmente per l'opera della celerità della corrente di aria.

140. Ed in ultimo, indipendentemente dalla materia solida

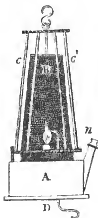
che può contribuire a render la fiamma più luminosa, affinchè la fiamma dello stesso combustibile divenga più brillante, fa duopo che la sua temperatura sia la più elevata possibile, ed in conseguenza la corrente di aria che attiva la combustione sia abbastanza rapida. Ma se in questo caso la fiamma aumenta nello splendore, essa diminuisce in grandezza; e poichè questa diminuzione è maggiore dell'aumento nello splendore di ciascun punto, la sua facoltà illuminante trovasi perciò scemata. In ciascun caso particolare vi ha una celerità della corrente dell'aria che dà il massimo della potenza illuminante, in cui la corrente apporta su la fiamma una quantità sufficiente di aria solamente perchè si operi la compiuta combustione delle materie gassose infiammabili: un eccesso, ovvero un difetto di aria potrebbe cambiar la vivacità della fiamma.

Sistema delle tele metalliche.

141. Fu dietro siffatte ricerche che Davy pervenne a scoprir della *lampada di sicurezza* che porta ancora il suo nome, o quello di *lampada de' minatori*, perchè destinata a sicurezza di coloro che lavorano nelle miniere di carbon fossile, in cui a cagione del gas idrogeno carbonato che vi si raccoglie, sono essi obbligati a lavorare nel bujo per impedir che questo gas, che ivi trovasi mescolato all'aria atmosferica, non detoni all'accostarvi una candela accesa. E difatti più volte è avvenuta la esplosione di masse più o meno considerevoli di quel mescuglio gassoso, cagionando la morte di que'disgraziati lavoratori, e danni considerevoli nelle stesse miniere. Ma ora tale inconveniente è tolto mercè quella lampada, la quale si può impunemente portare in mezzo que' gas, quantevolte si ha l'accortezza costruirla con le norme fissate dall'autore, che sono le seguenti:

Si saggia prima la tela metallica sul mescuglio di aria e gas idrogeno semplice, come il gas che si accende ad una temperatura inferiore di quella che bisogna pel gas delle miniere; poi se ne forma un cilindro di un pollice ad un pollice e mezzo di diametro, alto 8 a 10 pollici, chiuso in alto con la stessa tela metallica, la quale si addoppia per un pollice di altezza, un pollice sotto la estremità chiusa, e ciò perchè in quel punto arriva il calor maggiore della fiamma del lucignolo, il quale calore, come si è detto, stà nell'apice della fiamma. La tela, che deve avere almeno 750 aperture per ogni pollice quadrato, è fatta di filo di ferro del diametro di $\frac{1}{40}$ ad $\frac{1}{60}$ di pollice, e si avvita sopra una lucerna anch'essa cilindrica, nel cui mezzo stà il lucignolo, e da un lato porta un'apertura per la quale

vi s' introduce l' olio. La figura di lato rappresenta tutto questo congegnamento. B è la tela cilindrica chiusa in alto, e raddoppiata in *cc'*. A è la piccola lampana ad olio, su cui vi si avvita la tela metallica, ed *n* rappresenta l'apertura per la quale s' introduce l' olio. D è un meccanismo per abbassare ovvero alzare il lucignolo.



Allorchè il lucignolo si accende, la lampana diffonde quasi la stessa luce come se bruciasse all' aria libera, senza cioè la tela metallica, e portato in un mescuglio come quello del gas delle miniere, vi brucia senza comunicar la combustione al di fuori ove è il gas detonante, perchè questo vi brucia dentro la tela metallica, come l'idrogeno che brucia sopra la tela senza comunicar l' accensione del gas che trovasi sotto la stessa tela. E per provar Davy meglio gli effetti del suo apparecchio, fece varii mescugli di aria ed idrogeno carbonato per imitar quello delle miniere di carbon fossile, ed immergendovi la sua lampana accesa, non ebbe mai la comunicazione della fiamma col gas contenuto nel recipiente, perchè questo bruciava sempre dentro il cilindro della tela, e lentamente. Per altro è uopo avvertire, che le regole date dall' autore debbono essere rigorosamente osservate, perchè ove una tela metallica contenesse minor numero di aperture, l'accensione del gas avrebbe luogo ; il perchè la tela, e poi la lampana debbono esser saggiate prima di adoperarle, nel modo che si è detto più innanzi.

142. La luce intanto della fiamma, osservata prima da Davy, sotto il rispetto della sua intensità, che essa cioè diveniva più intensa quando era in contatto di una materia fissa, come si è detto più innanzi, ricevè dopo altre giunte. Già erasi osservata una luce vivissima prodotta con la elettricità in un recipiente vuoto, in cui eranvi situati due pezzetti di carbone orizzontalmente, terminati a punta come un lapis, e tenuti a distanza quasi al prossimo contatto, pe' quali facevasi passare la corrente voltaica di una pila che dà la elettricità di quantità, cioè a grandi elementi, ma quella che producesi con una corrente di ossigeno ed idrogeno compressi, infiammati e diretti sopra un pezzetto di calce caustica, sorpassa di gran lunga la intensità di ogni altra luce prodotta con i mezzi conosciuti.

Lo splendore vivissimo che danno le pietre calcari quando riduconsi in calce ne' forni, era già noto, quando nel 1826 alcuni armajuoli della Torre di Londra dirigendo una corrente

di ossigeno attraverso la fiamma dell' alcool sopra un pezzo di calce, furono sorpresi dalla luce abbagliante che svolgevasi dalla calce fatta rovente al bianco. Annunziatosi questo fatto nel *Morning-Post* del 28 aprile di quell'anno, richiamò dapprima l' attenzione del capitano della marineria Inglese, Drumond, il quale avendone valutata la intensità ad 80 volte maggiore di quella della lampada degli smaltatori, pensò applicarla a' fari, e dai primi suoi sperimenti potè questa vedersi alla distanza di 30 leghe marine. I due gas, ossigeno ed idrogeno, erano contenuti in recipienti separati, ed il mescuglio operavasi nell' estremità a poca distanza del cannello capillare da cui uscivano. Ma Drumond istesso, in una sperienza fatta col cannello di Brook, provò che quando i due gas erano prima mescolati nella proporzione in cui entrano nella composizione dell'acqua, la intensità della luce era immensamente più grande che quando adoperavansi separatamente. Riusciti dopo vani tutt'i tentativi de'fisici e de' chimici per impedire l' accensione del mescuglio detonante, comunque si fosse modificato il cannello a gas compresso di Newman, sia facendo passare i gas attraverso un liquido prima di uscir fuora, che attraverso uno strato di 1000 dischi della tela metallica di Davy, l'applicazione di quella luce restò senza successo, a cagione del pericolo sempre probabile di una violenta detonazione.

143. Pervenuta pe'giornali nel 1836 presso noi la novella del grande utile che avrebbe potuto trarsi dalle applicazioni di quella luce, che si disse *calcidio* e poi a *calci-ossidrogeno*, sopratutto a' fari, e le tante inutili sperienze fatte per impedire la esplosione de'due gas, il nostro Ministro della Guerra, tenente generale Fardella, m' incaricò di far uso di un sì difficile trovato. Conoscendo allora che le tele metalliche eran riuscite infruttuose, perchè presentavano capillari pressochè retti, pensai perciò adoperar cannelli da termometro lunghi 3 a 4 piedi, e sperimentatone uno che adattai alla chiave di una vescica ove aveva introdotto i due gas ossigeno ed idrogeno presso a poco nelle proporzioni in cui sono nell'acqua, premendo la vescica, ed infiammato il getto de' due gas, cessai quindi di premere. L' effetto fu come lo aveva supposto, che cioè raffreddatasi la fiamma lungo quel capillare, si spense assai sopra la chiave a cui era fissato, e perciò l'accensione di que'gas non aveva luogo nel serbatoio. Fatto sicuro dell'effetto del cannello, in un'altra sperienza diressi quel getto infiammato su la punta di un pezzetto di calce viva, e la luce si ebbe tanto abbagliante quanto l' aveva descritta Drumond. Ma poichè la quantità di gas che usciva da un capillare solamente, non bastava ad arroventare un pezzo di calce più grande, mi avvisai unirne molti in fascio in una canna di lamina di ottone, isolandone le aper-

ture con mastice, ed obbligando poi tutta la quantità di gas ad uscirne per una sola apertura alquanto stretta. Adattato questo nuovo *cannello di sicurezza* per l'altra estremità alla vescica, lo saggiai sopra un pezzo di calce tagliato in forma di cono, e la luce parve grande ed abbagliante come la desiderava.

144. Portate queste sperienze a notizia del Ministro, volle questi farne confronto con la luce di molte candele, e trovatala immensamente superiore, dispose subito che un saggio se ne facesse sul faro del *molo*. Lo sperimento fu fatto con tre soli pezzetti di calce posti nel foco di uno specchio con concavità sferica, del diametro di 18 pollici. L'apparecchio era situato assai sotto l'antica lanterna, la quale allora conteneva 16 *quinquet* con gli opportuni riflessori. L'effetto fu tale, che il capitano di vascello, Cavalcante, che erasi posto in mare a circa 4 miglia distante dal faro, esposte nel suo rapporto mandato al ministero della marineria » aver la nuova luce ecclissata totalmente quella della lanterna superiore, e che stando egli nel buio ed a 4 miglia distante, si vide rischiarato in modo da distinguere sino i colori degli abiti delle persone che erano con lui ».

Compiuto questo saggio, sen volle fare un altro a maggiore distanza. E perciò si mandava il battello a vapore il Nettuno, comandato dallo stesso Cavalcante. Il mare oltremodo burrascoso non permise che si fosse spinto al di la di 9 miglia; nondimeno quell'uffiziale superiore diceva in altro rapporto « non aver più veduta la luce dell'antica lanterna a 4 miglia, ma la nuova a 9 miglia era sì forte, da far riflettere la striscia luminosa sul fianco della nave, il perchè conchiudeva, dover quel faro vedersi a distanza assai più grande ».

Fu dietro questo secondo più decisivo sperimento che il Ministro diede le analoghe disposizioni affinchè si facessero gli opportuni gassometri e quanto altro bisognava per l'applicazione definitiva della nuova luce; lo che adempito, si fecero altre pruove. E perciò in una sera uscivano dal porto il brigantino da guerra *Principe Carlo*, comandato dal capitano di vascello Longo, e l'altro, lo *Zeffiro*, comandato dallo stesso Cavalcante. Con segnali convenuti, doveva il primo corrispondersi col secondo, e questo passare i segnali per trasmetterli successivamente alle persone che stavano sul faro. I risultamenti furono soddisfacentissimi, come attestavano i rapporti de'due citati comandanti diretti il giorno dopo al ministero.

I due gassometri erau fatti dietro il sistema di Pepys, cioè con compana rovesciata, tutti in rame, e ciascuna campana era alta 12 piedi e del diametro di 7. I pezzetti di calce erano 7, disposti nel foco di altrettanti riflessori situati in forma di doppia piramide, e la quantità del mescuglio gassoso potè durare per ore 10. Ma non potendo farsi più grandi que' gassometri

per la strettezza del luogo, io proponeva con rapporto al Ministro, di sostituire a' riflessori l'apparecchio *lenticolare* di Fresnel che venne dopo usato, ed alla luce ottenuta dall'olio, quella della calce, e così quel volume de'due gas era anche soverchio per le notti più lunghe del verno.

Nello sperimento citato, lo *Zeffiro* su cui era anch'io imbarcato, si spinse a più di 20 miglia dal faro, e percorse l'ampia apertura tutta dell'entrata del golfo, cioè dalla punta di Miseno a quella della Campanella, e sempre il faro distintamente vedevasi come quando eravamo a sei miglia lontani; lo che fece dedurne, potersi scorgere a distanza assai maggiore. E quantunque il nuovo faro era a *luce fissa*, nondimeno per la disposizione data a' riflessori, il cono luminoso, il cui vertice stava ne'fochi de'riflessori, allargavasi sino alle due punte indicate, e perciò vedevasi in ogni altra parte del golfo.

Dopo questi reiterati saggi, e quelli fatti nel 1838 in Pietroburgo (1) ed in Parigi, e nuovamente presso noi, di ritorno dalla Russia, si domanderà certamente, perchè non si è ancora applicata la novella luce? La risposta n'è tutta semplice, cioè, che ove si tema esservi pericolo anche lontano, fa duopo vincer prima questa ripugnanza per andare avanti. La storia su l'origine ed applicazione del vapore ne risponde meglio, perchè non ostante le tante esplosioni succedute nelle caldaje e le innumeri vittime, fattisi dopo gli uomini sicuri de' miglioramenti per impedirle, si è veduto dopo il vapore generalizzare come forza motrice direi quasi generale. Or nell'anzidetto sistema della novella luce ogni pericolo di detonazione è tolto, il tempo, che è il migliore regolatore delle opere fatte dell'uomo, farà il resto: Ma quando anche la nuova luce dovesse rimaner fuora quelle applicazioni a cui pareva destinata, sopratutto a rischiarare gl' immensi opifizii manifatturieri in que' luoghi, ove la brevità de' giorni rende le notti più lunghe, nondimeno la chimica e la mineralogia hanno raggiunto il tanto bramato scopo, quello cioè, che l'apparecchio detto *cannello ferruminatorio* di Newman, inutilmente modificato sinora da Bostook, da Gur-

(1) In quel tempo era in Napoli S. A. I. il Gran Duca Michele di Russia, il quale informata di que' saggi, e veduta la nuova luce, mostrò desiderio di avere un modello di quell' apparecchio, e che io stesso mi fossi condotto in Pietroburgo: Giunto colà con quella macchina, che ora conservasi nel grande Arsenale dell' A. S. I, furon fatti i saggi in varii luoghi con altro apparecchio a gas compresso, e nella sera del 22 settembre del 1838 si reiterarono nel palazzo del Gran Duca ove erasi recato l'Augusto suo germano l'Imperatore con tutta la imperiale Famiglia e molti Grandi personaggi dell'Impero. Le Loro MM. II. si mostrarono generosamente soddisfatte di quegli sperimenti, pe'quali due candelabri a gas compresso erano situati l'uno di rimpetto all' altro nella grande corte del Palazzo, ed uno nel vestibolo; e quantunque a quell'ora cadesse per la prima volta molta neve, e la calce rovente si trovasse esposta all' aria libera, nondimeno la luce non venne in alcun modo indebolita o arrestata.

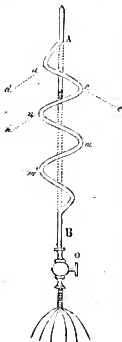
ney, da Hare e da Berzelius con più migliaja di tele metalliche disposte le une su le altre, applicandovi ora quel nuovo cannello di sicurezza, potrà rendere alle due scienze continuate applicazioni, dappoichè esso solo è capace di produrre quell' alta temperatura a cui non giungono i migliori fornelli a corrente forzata di aria, ovvero mossi da doppii mantici (1).

Sistema de' capillari tortuosi e costruzione del nuovo cannello di sicurezza.

145. Ho esposto la serie delle sperienze che feci per impedire che la fiamma pervenisse sino nel serbatojo del mescuglio gassoso di ossigeno ed idrogeno. E perciò quel cannello capillare dritto, che prima produceva l'accensione e detonazione de' due gas, quando era piegato a zigzag, più non manifestava questo effetto, perchè la fiamma rallentata nel suo moto, per gli ostacoli che incontrava negli angoli di quei zigzag, spegnevasi nella terza curvatura di quel cannello. Ma il getto di gas che avevasi da un sol cannello era troppo debole ad arroventare un pezzo di calce di sufficiente grandezza. Pensai allora che un sistema di piccole sfere metalliche, dando la preferenza a'piccoli pallini da caccia, avesse dovuto darmi gli stessi effetti di più cannelli capillari congiunti insieme; come aveva adoperati nelle prime sperienze sul *faro* del Molo. Riempii perciò una canna di

(1) E qni aggiungeremo per comprovar l' assunto, che gli stessi chimici di alto nome non si sono finora arditi di starsi innanzi la piccola scatola del cannello di Newman, che racchiude al più 2 a 3 piedi cubici de'due gas compressi, e perciò essi timidi sempre, hanno adoperato i due gas separatamente. Or chi sarebbe stato si coraggioso da porsi accanto a' due grandi gassometri, le cui campane erano alte 12 piedi e del diametro di 7, piene de'due gas, come io ed altri vi restammo tranquilli presso que'descritti ne' saggi fatti pel nostro faro? Dica che voglia la ordioaria malignità, o l'ignoranza; qui solo In confutazione aggiungo, che lo stesso coraggio mostrarono le MM. ed AA. II. io Pietroburgo con uua schiera de' più cospicui personaggi dell' Impero. La sola convizione dunque su la infallibilità del mio sistema, che ho detto de' *capillari tortuosi*, valeva ad allonlanar dall'animo loro la idea di un pericolo imminente, e poteva, se mi è permesso dirlo, renderli anche superiori a coloro che ancor temono di accostarsi al cannello di Newman, comunque da altri modificalo. Il cilindro adoperato in Pietroburgo e poi in Napoli, era alto 7 piedi, e del diametro di 1 ½, ed il mescuglio detonaote eravi compresso sino a 3 atmosfere. Ma non solo in Russia, quel gigante cannello, in confronto dell' altro di Newman, non destò alcuoa idea di pericolo, anche presso noi l'augusto nostro Sovrano, Ferdinando II, la real sua Consorte ed il principe di Satriano, teoente generale Filangieri, che vi era anche presente, mostrarono forse maggiore coraggio nello starvisi accanto, quando quella gran massa del mescuglio detonante bruciava, e per mollo tempo. E quante migliaja di persone di ogni grado non fecero lo stesso nella mia casa? E l'augusta famiglia di S. A. I. il Gran Duca di Toscana non si restò con egual animo nella medesima mia casa innanzi quell' apparecchio detonante? Or dunque coochiudo, che il primo passo è fatto, il tempo farà il resto, come fece per la navigazione a vapore.

vetro del diametro di 8 line, e dell'altezza di due piedi, di quelle picciolissime sfere che alternai a strati di 1 a 2 pollici con sabbia quarzosa, e sottoposto al saggio quel nuovo cannello, ebbi il risultamento preveduto dietro la teorica così stabilita. La fiamma spegnevasi ad un terzo della lunghezza di quella canna, dal che dedussi, poter solo un siffatto sistema, che chiamai di *capillari tortuosi*, impedire il celere cammino della fiamma per raffreddarla, e non quello delle tele metalliche, le quali danno capillari quasi dritti. Ecco il principio da cui trassi il nuovo sistema, il quale mi fu poi di guida per comporre un cannello di vera sicurezza ed applicarlo alla produzione di quella intensissima luce.

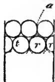


Nel cannello di lato, quando la fiamma deve seguire la retta A*a'*, per la curvatura di esso prende invece la direzione A*a*, e non potendo seguirla in *a'*, curvandosi nel punto *a*, va per l'altra retta *ae*. Ivi succede lo stesso che nella prima curvatura in *a*, cioè che ribalzando la fiamma nell'ostacolo *e*, non potendo percorrere l'altra retta *a e e'*, segue invece quella segnata da *en*, e così di seguito nelle rette *nm*, *mm'*, ec, il perchè rallentandosi successivamente il moto della fiamma, per effetto del suo contatto con le pareti del cannello, la sottrazione del calorico ha luogo, e perciò raffreddata alquanto si spegne, come nella tela metallica.

Riuscito in siffatto modo nell'applicazione della teorica premessa, cavata da quella stabilita da Davy su le tele metalliche per intercettar la comunicazione della fiamma con i serbatoi pieni di mescugli infiammabili, non mi fu più difficile procedere innanzi. E persuaso che ogni altro mezzo che avesse scemato il cammino della fiamma, e fatto perderle calorico nel suo retrocedere, dovesse conseguentemente raffreddarla e poi spegnerla, pensai perciò valermi dell' altro espediente notato, quello cioè di comporre un sistema di capillari tortuosi, i quali avessero soddisfatto allo scopo propostomi. E persuaso che siffatto divisamento poteva raggiungersi con mezzi differenti, fra i tanti sinora intentati, trovai che quello della soprapposizione di più centinaja di dischi di tele metalliche, come proponeva Berzelius, e che diceva si-

curissimo, ne' fatti poi era riuscito inutile in Inghilterra, ove più migliaja di que' dischi soprapposti non erano bastati ad allontanare il pericolo di una detonazione, e perciò erasi rinunziato all' idea di farne qualche applicazione. Io dunque ebbi a ricorrere a menare innanzi il mio principio, quello cioè di comporre *capillari tortuosi*, come i soli, che dopo il premesso, potessero allontanare ogni pericolo di detonazione, non già quelli che davano le tele metalliche, chè erano quasi retti, ed assai difficile a comporli in canne opportune. Le piccole sfere dunque potevano meglio corrispondere all' oggetto, e perciò mi avvisai dare a queste la preferenza.

146. Così nel caso del sistema delle sfere lo stesso ha luogo, perchè supposto nel punto *a* la direzione del capillare per cui passa la fiamma, pervenuta essa su la sfera *r*, si piega e va nella direzione delle sfere *tr*; da queste su le altre sottoposte, e così per tutta la massa delle sfere che sono nella canna; in modo che la fiamma sparpagliandosi fra queste, dovrà seguir cammini tortuosi, che sono altrettanti zig-zag presso a poco come quelli del cannello così piegato che me ne somministrò la prima idea.



In siffatto modo costrutto il nuovo cannello di sicurezza, ove si volesse rintracciarne gli elementi in cose dette, o farvi modificazioni, è certo che sinora niuno si è fatto ardito di bruciare grandi masse del mescuglio gassoso detonante, sia nei grandi gassometri, che ne' cilindri in cui l' ho ripetute volte compresso sino a 3 atmosfere; e perciò, applicato questo cannello sull' apparecchio citato di Newman, può ora adoperarsi senza tema di alcuno inconveniente. Esporrò poi in una memoria a parte tutte le osservazioni da me fatte sopra i mescugli gassosi infiammabili che meglio convengono ad ottenere l'effetto, e le precauzioni da prendersi in un' applicazione di quella luce sopra una vasta scala. I limiti di questo trattato m'impongono non entrare in siffatti particolari, e perciò mi è bastato esporre la teorica del nuovo sistema de' *capillari tortuosi*, perchè essa va strettamente ingiunta con quella delle *tele metalliche* stabilita da Davy.

Rifrazione del calorico.

147. Quando i raggi luminosi traversano un mezzo diafano non in una direzione perpendicolare alla superficie, ma più o meno obliqua, nel penetrare il mezzo si rifrangono, cioè deviano dalla retta primitiva, a seconda della natura e densità del mezzo in cui entrano. Ora i raggi calorifici, tanto quelli che vengono da una sorgente luminosa, che priva di luce,

sottoposti alle stesse condizioni, presentano anch' essi fenomeni identici, perchè seguono la stessa legge di diottrica, cioè, che quando la direzione di un raggio è perpendicolare alla superficie del mezzo che traversa, allora esso continua a muoversi per la stessa retta, diminuendo solo nella intensità, a seconda del mezzo più o meno denso; ma se esso viene per una linea più o meno inclinata di una quantità qualunque alla superficie comune a'mezzi che attraversa, in tal caso patisce una deviazione, che dicesi *rifrazione*; cioè che quel raggio si allontana, ovvero si avvicina alla perpendicolare che passa pe'punti d'immersione, e perciò il mezzo o corpo dicesi *rifrangente*. Per uno stesso mezzo, il seno del angolo compreso fra il raggio incidente e la perpendicolare, serba un rapporto costante col seno del angolo compreso tra il raggio rifratto e la stessa perpendicolare (1), ma questo rapporto varia col mutar la natura del mezzo o del corpo rifrangente; dappoichè i diversi mezzi modificando la velocità, e la lunghezza delle onde calorifiche e luminose, debbono cagionare siffatto deviamento de'raggi, il quale ha luogo avvicinandoli alla perpendicolare ove passano da un mezzo raro ad un mezzo più denso, come dall'aria all'acqua, da questa al cristallo ec., e per lo contrario allontanandoli quando passano dal mezzo denso al mezzo raro, cioè dall'acqua all'aria ec.

148. Un fatto assai volgare, quello cioè che i raggi solari concentrati per mezzo di una lente convessa si riuniscono tutti in un punto che dicesi *foco*, ed in cui solo può accendersi l'esca ec., fece supporre a'fisici che i raggi calorifici che erano uniti a'raggi lucidi dovessero patire la medesima rifrazione, perchè si trovassero con questi uniti nel medesimo punto. Questo fatto dunque era conosciuto da lungo tempo per lo ca-

(1) L'angolo d'incidenza è l'angolo che forma il raggio incidente con la normale, e l'angolo di rifrazione è quello che questa normale fa con l'angolo rifratto. Il *seno dell' angolo d'incidenza ed il seno dell' angolo di rifrazione* sono le linee dirette perpendicolarmente su la normale, da' punti che incontrano il raggio incidente o rifratto su la circonferenza di un cerchio che ha per centro il punto in cui penetra il raggio.

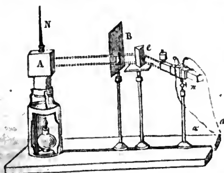
Il seno dell' angolo di rifrazione sta al seno dell' angolo d' incidenza in un rapporto costante sotto tutte le incidenze negli stessi mezzi, e questo rapporto dicesi *indice di rifrazione*. Si ottiene l' indice di rifrazione dividendo il seno d' incidenza pel seno di rifrazione, e si esprime con la formola

$$\frac{sni}{snr} = n$$

L' esperienza dimostra, che quando il raggio passa dall'aria nel vetro, la lunghezza del seno d'incidenza sta a quella del seno di rifrazione come 3 a 2; e se passa dall'aria nell'acqua, il rapporto sarà come 4 a 3. Ma questo rapporto sarebbe in senso inverso ove il raggio passasse dal vetro o dall'acqua nell'aria, perchè le lunghezze de' seni sarebbero come 2 a 3 pel primo e 3 a 4 per la seconda.

lorico che accompagna la luce, ma Dufay osservò dopo anche la rifrazione del calorico oscuro.

149. Prima di Melloni si ammetteva una piccola differenza di rifrazione fra le due sorgenti, e solo dicevasi, che se non si avevano col calore oscuro gli stessi effetti del calore luminoso, ciò proveniva dal che un corpo comunque portato al grado assai sensibile di calore oscuro, non pertanto il suo centro di emanazione non aveva attività abbastanza come quello di una sorgente calorifica luminosa. La rifrazione intanto del calorico non succedeva in questo caso, dappoichè il bulbo del termometro di Leslie posto nel foco dello specchio non dava segno sensibile di concentrazione. Melloni dimostrò dopo che ciò non avveniva per essere il vetro impermeabile al calore raggiante. E difatti, adoperando invece una lente di salgemma, sostanza che trasmette, come diremo appresso, ogni specie d'irradiazione calorifica, la concentrazione succedeva con grande energia. La rifrazione poi del calore oscuro riesce evidentissima col seguente apparecchio dovuto allo stesso Melloni.



Il prisma triangolare di salgemma *e* fu posto da Melloni a qualche distanza dalla sorgente calorifica provveniente dalla fiamma di una lampada, detta di Locatelli, ovvero dall'acqua tenuta in bollimento nel cubo A, e trovato prima la direzione del fascio calorifico emergente, sia oscuro che luminoso, secondo che operava con la fiamma posta nello stesso sito in A, ovvero coll'acqua bollente, quando vide la deviazione dell'ago nel termomoltiplicatore giunta al minimo, abbassava subito il diaframma B, disponendo nello stesso mentre l'asse della pila termoelettrica *n* nella direzione de' raggi rifratti che uscivano dal prisma, notando le deviazioni dell'ago del moltiplicatore che era in communicazione della stessa pila pe'due fili conduttori *aa'*. Sostituendo dopo alle due sorgenti indicate quella di una spirale di filo di platino fatta rovente, e poi una lamina di rame riscaldata a + 400°, vide succeder la deviazione dell'ago sempre nello stesso senso, ed arrestarsi appena volgeva la pila per farla uscir fuora la direzione de'raggi rifratti. In siffatto modo potè egli provare, che i raggi calorifici di

quelle diverse sorgenti erano rifratti dal prisma di salgemma, in modo che l'indice della loro rifrazione non differiva sensibilmente dall'indice di rifrazione de'raggi luminosi.

CAPITOLO VI.

Diatermansia o trascalescenza — Termocrosi o termanismo — Fenomeni generali del calorico radiante attraverso le sostanze diatermiche o trascalescenti.

150. Le indefesse ed importanti ricerche fatte da Melloni su le sostanze che hanno la proprietà di *trasmettere* o di *arrestare* i raggi calorifici, hanno attirata l'attenzione de' fisici sopra un soggetto non ancora preso in grave considerazione, e disvelata una sorgente di moltiplici scoperte che a giusto titolo hanno tanto innalzato il nome dell' autore il quale, per una serie di molti anni le ha proseguite con un ardore, sagacità e pazienza ammirevoli, e recate al maggior grado d' importanza per la scienza del calore radiante, la quale ora può dirsi quasi di nuova creazione.

Si era sin qui ammesso che i raggi solari e quelli de'corpi roventi o in combustione, si componevano di raggi luminosi, distinti da'raggi calorifici; e dopo che Schéele fu pervenuto a separare i primi da'secondi col mezzo di una lamina di vetro, si credè non più mettersi in dubbio la differenza fra luce e calorico. Ma un fenomeno assai volgare si opponeva alle deduzioni tirate da quello osservato dal chimico svedese, ed è, che quando i raggi del sole s'imbattono su i vetri che chiudono l'apertura di una stanza, osservasi che i raggi calorifici l' attraversano co' raggi luminosi, ed il calore si fa assai sensibile dalla parte opposta de' vetri.

Stando così le conoscenze su la natura delle radiazioni luminose e calorifiche, Delaroche si avvisò pel primo d'intraprendere una serie di sperienze a fin di determinare non la identità o la differenza de' due fluidi, ma la quantità di calorico che passava attraverso i corpi diafani, operando col calorico tanto luminoso che oscuro. Egli osservò primamente, che se i raggi di calorico oscuro che sono mandati da una sorgente, la cui temperatura è inferiore a quella dell'acqua bollente, essi allora non traversano una lamina di vetro, ma quelli che provengono dalle fiamme e da' corpi roventi, vi passano in quantità notevole. E nelle irradiazioni di corpi riscaldati a temperature intermedie, la proporzione di calorico trasmessa *immediatamente* dalla lamina di vetro, essendo assai debole o nulla nei raggi delle sorgenti vicine al calore dell'acqua bollente, rendevasi sensibile quando adoperavansi sorgenti di una temperatura superiore; di maniera che il carattere che distingueva la trasmissione immediata, propria de'raggi solari, diveniva tanto

meglio manifesto, quanto più la temperatura avvanzava sino ad apparire il primo svolgimento di luce. Delaroche operando così con sorgenti che davano il solo calore oscuro, ed obbligandolo a passar 1° per l'aria, 2° attraverso una lastra di vetro trasparente, 3° per una simile lastra coverta di nerofumo, usando termometri sensibilissimi, ebbe i seguenti risultamenti.

Temperatura della sorgente.	Aria.	Lastra di vetro trasparente.	Lastra di vetro annerito.	Differenza	Rapporto
182°. . .	3°, 94. .	0°, 22. .	0°, 07. .	0°, 15.	$\frac{1}{16}$
346°. . .	16°, 33. .	1°, 36. .	0°, 17. .	1 , 19.	$\frac{1}{14}$
960 . . .	38°, 97. .	11°, 83. .	0°, 43. .	11 , 43.	$\frac{1}{3}$

Da queste prime sperienze potè Delaroche dedurre, che quando la temperatura della sorgente era di + 182°, passava attraverso il vetro $\frac{1}{16}$ del calore incidente, e se era a + 960°, ne passava $\frac{1}{3}$. E proseguendo le sperienze, egli osservò, che quando il calorico che passa attraverso una lamina di vetro si obbliga attraversarne subito dopo una seconda, esso allora prova una perdita proporzionalmente assai minore. Così interponendo egli una lamina di vetro fra il corpo caldo ed il termometro, trovò che il rapporto tra il calore trasmesso ed il calore totale era $\frac{1}{8}$; ma quando vi frapponeva una seconda lamina di vetro, questo rapporto diveniva solamente $\frac{1}{16}$.

151. Queste sperienze quantunque assai importanti, nondimeno le deduzioni che se ne trassero lasciavano ancora molta incertezza su la identità de' raggi luminosi con i raggi calorifici; dappoichè ritenendo i fisici, che la forza necessaria all'irraggiamento del calorico per attraversare i corpi solidi istantaneamente, come avviene pe' raggi luminosi, aumentando gradatamente a misura che la temperatura della sorgente si faceva maggiore, doveva il calorico, in virtù di questo aumento, patire soltanto una certa *modificazione* che lo tramutava a poco a poco in luce. Così il calorico proseguivasi a considerare differente dalla luce, e solo si riteneva poter esso in alcune circostanze *modificarsi* ed assumere le sembianze o le qualità della luce; e perciò i fisici di alto nome, prima delle sperienze di Melloni, attribuivano ancora gli effetti termoscopici che succedevano dietro uno strato solido, non alla radiazione *immediata* che lo attraversava, ma alla *trasmissione* per contatto, o al calorico assorbito che era dipoi tramandato dal corpo solido allo strumento termoscopico.

Stando in questa convizione i fisici, Melloni pervenne dopo rigorose sperienze a dimostrare il contrario, che cioè i raggi

calorifici passavano come i raggi luminosi attraverso molti corpi diafani; il che lo portò a fissare decisamente la perfetta identità del calorico con la luce, ed a maggiormente raffermare la teorica delle onde luminose, la quale ora dà ad un tempo ragione tanto de'fenomeni luminosi che calorifici, come dipendenti da una stessa cagione, cioè dall'etere, e così egli distrusse la pretesa semplice *modificazione* del calorico in luce.

152. Esaminando Melloni più diligentemente la trasmissione del calorifico attraverso i corpi diafani, e facendo uso di uno strumento termoscopico immensamente più sensibile di quanti prima se ne sapevano, che disse *termomoltiplicatore*, rinvenne nel salgemma una sostanza dotata di solidità e trasparenza come il vetro, la quale trasmetteva abbondantemente ed egualmente per via immediata qualunque radiazione calorifica. Così egli provò, che il calorico tramandato dalle pareti di un vaso pieno di acqua bollente, passa istantaneamente per diversi pollici di questa sostanza, allo stesso modo che vi passano i raggi di luce, sia quelli di un corpo incandescente o infiammato, che gli stessi raggi del sole. La trasparenza dunque de' corpi non è più di necessità assoluta per produrre la trasmissione immediata de'raggi calorifici, doppoichè alcuni altri corpi diafani coverti da materia bruna ed esposti alla radiazione lucida e calorifica della fiamma, trasmettevano più calore che altri corpi dotati di massima trasparenza; che anzi provò Melloni, che alcune sostanze perfettamente opache trasmettevano del pari notabile quantità di raggi calorifici. Dippiù osservò egli potersi formare combinazioni di due o più sostanze diafane differenti, e renderle quasi compiutamente impermeabili alla radiazione calorifica, comunque questa partisse dalle sorgenti di più alta temperatura. Il perchè ammise due classi di corpi capaci di trasmettere o di arrestare il passaggio a'raggi calorifici. Nella prima comprese i corpi *diatermici* o *trascalescenti*, e nella seconda i corpi *atermici*. I primi danno libero passaggio a'raggi calorifici, come i corpi diafani si lasciano attraversar facilmente da' raggi luminosi; ed i secondi sono privi di questa facoltà, come sono i corpi opachi rimpetto alla luce. Ma quantunque il calorico raggiante abbia proprietà analoghe a quelle della luce, nondimeno non tutt'i corpi trasparenti sono egualmente diatermici, allo stesso modo che tutt'i corpi opachi non sono egualmente atermici.

Ecco i dati donde si arguisce la permeabilità de' corpi solidi e liquidi pel calorico raggiante.

Sia una lamina metallica pertugiata, che fa da diaframma, come quella B della fig. del § 149. Si disponga ad una certa distanza, e su la linea orizzontale che passa pel centro del foro, da una parte la sorgente calorifica nel punto A, e dall'altra la pila termoelettrica *n* che vedesi nella stessa figura, posta in

comunicazione pe' due poli *aa'* del galvanometro che l'è dappresso. Così disposto l'apparecchio, si turi con una piastra di salgemma, di cristallo di monte, di vetro, o di altra sostanza diatermica, e si vedrà il galvanometro indicare una certa impressione calorifica venutale dalla pila *n*; ma se questa si toglie dal suo posto, e si porti alquanto lateralmente, tenendola ad una distanza invariabile dal centro del foro della lamina B, e sempre rivolta verso il corpo diatermano, si vedrà allora cessare ogni azion calorifica, e l'indice dello strumento scender tosto su lo zero della propria scala. *L'azione dunque osservata nel primo caso, non deriva dal riscaldamento dello strato diatermano, ma da una specie particolare di calore che lo traversa in una sola direzione, e che continua a propagarsi di là parallelamente alla linea retta condotta dal centro della sorgente al centro del foco.*

Questo calore inoltre, incapace di propagazione laterale, è anche, in certa tal guisa, indipendente dalla disposizione delle particelle materiali frapposte sul suo proprio cammino. Ciò viene confermato operando sopra uno strato sufficientemente esteso, le cui porzioni si fanno passare rapidamente nella direzione dell'apertura della lamina ov'è posta la piastra diatermana; poichè in questo caso l'indice del galvanometro se ne sta immobile su la posizione angolare prodotta dalla prima azion calorifica. Dal che ne conseguita una seconda legge, cioè: *La quiete o il movimento delle particelle onde è composto lo strato diatermano, o trascalescente, non esercitano alcun'azione sul calorico propagato secondo la sola direzione della sorgente.*

Ed in ultimo, il medesimo calore che passa lo strato diatermano da parte a parte, senza essere smosso dall'agitazione delle varie parti materiali, percorre dipoi qualunque estensione del mezzo diatermano. E per provarlo basta intercettare il raggiamento calorifico della sorgente, lasciare scendere a zero l'indice del termomoltiplicatore, stabilire di bel nuovo la comunicazione calorifica, e notare con esatto cronometro quanti secondi abbisognano affinchè l'indice giunga, per l'azione dell'efflusso calorifico, alla massima sua deviazione. La radiazione può intercettarsi prima o dopo il suo transito per la materia solida, perchè tanto nell'uno che nell'altro caso l'indice impiegherà sempre lo stesso tempo a percorrere l'arco di deviazione, qualunque siasi la quantità della sostanza diatermana interposta. *Il calore dunque, dotato di una sola propagazione rettilinea ed irremovibile del suo cammino, traversa ogni strato trascalescente solido o liquido in un istante impercettibile.*

153. Le tre leggi così stabilite da Melloni, dopo le predette sperienze, sono opposte a quelle che somministrano la trasmissione ordinaria del calore, laddove esse concordano poi perfettamente con le tre proprietà fondamentali che manifestano le radiazioni

calorifiche che transitano per l'aria atmosferica. E perciò Melloni conchiude, *che il calore si propaga entro certi corpi solidi e liquidi non solo successivamente da strato a strato, ma anche immediatamente e sotto forma di raggi, attraversando tutta la estensione del mezzo con una velocità immensa.*

La eterogeneità degli elementi che compongono una data radiazione calorifica, si deduce non solo dalle leggi di propagazione entro un dato mezzo trascalescente, ma benanche, e forse con maggiore evidenza, da' fenomeni che presenta la sua trasmissione successiva per le sostanze diatermane diverse. Vi sono in fatti certe lamine di vetro verde le quali esposte al raggiamento delle fiamme, lasciano passare una quantità di calore che viene tutta assorbita da una piastra limpidissima di allume; comunicando al fascetto incidente una sufficiente energia mediante uno specchio concavo di metallo, ovvero una lente convessa di salgemma, si osserva allora il fenomeno sorprendente di due lamine diafane, le quali separate lasciano passare tanto calore da far deviar l'ago termoscopico da 25 a 30, ma soprapposte, esse intercettano così perfettamente la radiazione calorifica, da ricondurre l'indice su lo zero della scala. Il perchè Melloni conchiuse 1.° che i fascetti calorifici trasmessi dalle due lamine sono di costituzione al tutto diverse; 2.° che facendo passare una radiazione di luce mista al calore per certe coppie di strati eterogenei, si può togliere tutto il calore e ritener la sola luce.

Tali mezzi composti sono dunque *atermano-diafani*, e i raggi emergenti divengono atti a rischiarare gli oggetti senza produrre nessun fenomeno di riscaldamento.

154. Ammettiamo ora che si adoperi una lamina sottile di vetro nero compiutamente opaco, ed una piastra di salgemma annerita col nerofumo sino a renderla del tutto priva di trasparenza; in questo caso le due lamine saranno ancora permeabili da una certa quantità di calore raggiante, la quale può rendersi sensibile coi soliti mezzi di concentrazione.

Inoltre suppongbiamo una data deviazione prodotta su lo strumento termoscopico, e sia ad esempio di 30° con la lamina di vetro nero, e s'interponga fra questa e la pila termoelettrica un vetro diafano ordinario. In questo caso si vedrà l'indice scendere sino alla metà circa dell'arco, e poi vi resterà ferma. Or se in questo mentre si riproduca la medesima deviazione come prima, cioè di 30°, a traverso il sale affumicato, e dopo si frapponga un'altra volta la lamina trasparente, si vedrà l'indice termoscopico portarsi subito su lo zero della scala; lo che chiaramente prova, che il calore tramandato dalla lamina opaca di vetro nero, differisce essenzialmente dal calore trasmesso dalla piastra opaca di salgemma. *La radiazione dunque*

vibrata da un corpo incandescente, contiene diverse specie di raggi calorifici totalmente privi di luce.

155. Da'fatti esposti risulta, che l'eterogeneità de' raggi elementari che costituiscono un efflusso calorifico, non è determinata dalla presenza della luce, o dalla sua mancanza; e perciò la opinione di Powel, e quella degli altri fisici che tentarono spiegare i fenomeni della trasmissione immediata con due sole qualità di calore, cioè il *lucido* e l'*oscuro*, diviene del tutto erronea.

Lo stesso dicasi di quell'altra ipotesi ove ammettevasi che l'innalzamento di temperatura modificava a poco a poco il calore svolto dalla sorgente, tramutandone in luce una quantità più o meno notabile. Così alcuni fisici ne allegavano in conferma il fatto osservato da Delaroche intorno alla trasmissione del vetro, la quale perchè cresceva con la temperatura del corpo raggiante, se ne arguiva doversi l'effetto all'*impeto*, o alla *forza d'impulso*, necessaria alla radiazione per penetrare i mezzi solidi, e perciò esso dipendeva essenzialmente dal vigore della sorgente. Ma le sole proprietà termiche scoperte da Melloni nel salgemma bastano per mostrare l'insussistenza di questa pretesa metamorfosi, dappoichè il sal gemma è sostanza solida, in cui gli efflussi calorifici mandati da qualunque sorgente vi penetrano sempre facilmente, e traversato tal mezzo in un tempo impercettibile, emergono subito dopo dalla parte opposta egualmente, affievoliti solo di 0,082, per la riflessione delle due superficie di entrata ed uscita de'raggi calorifici. Anzi lo stesso salgemma comunque affumicato leggermente, esso nondimeno acquista la facoltà di trasmettere i raggi calorifici in quantità tanto maggiore quanto minore si è la temperatura della sorgente. Ora ammettendo ne'mezzi diatermani una resistenza meccanica alla propagazione del calorico, e supponendola vinta più o men facilmente secondo la forza con cui i raggi sono cacciati dalla sorgente, ne segue che il salgemma affumicato tenderebbe a dimostrar questa forza più gagliarda ne'raggi delle sorgenti a bassa temperatura, laddove poi da' fenomeni di trasmissione osservati nel vetro ed in altre sostanze, se ne deduce precisamente la conseguenza opposta. La trasmissione dunque più o men copiosa de'raggi, non dipende dal preteso impeto de'raggi calorifici, ma si bene dalla minore o maggiore energia di una *forza intercettante*, o *assorbente* che sta nel mezzo diatermico, la quale varia con la natura di questo, ed opera soltanto su tale o tal altra specie di calore, scegliendo per così dire, nella radiazione incidente, alcuni elementi per assorbirli, lasciando transitar gli altri liberamente. Or per giudicare in siffatto modo un tal fenomeno, era duopo conoscere la vera indole del calorico raggiante, e malgrado le nozioni che

si avevano su la varia rifrazione degli elementi calorifici del raggio solare, e sopra alcuni caratteri distintivi de' raggi di calore terrestre, non pertanto la costituzione de'diversi efflussi calorifici, e segnatamente l'eterogeneità delle loro parti elementari, non venne dimostrata che in questi ultimi anni, mediante i nuovi metodi analitici cotanto ampliati da Melloni, e dalla trasmissione de' mezzi diatermici e dalla diffusione prodotta su la superficie delle sostanze atermiche.

156. Da queste osservazioni trasse origine la *diatermansia*, e la *termocrosi* stabilite da Melloni, per dinotar la facoltà che hanno i corpi di trasmettere i raggi calorifici, facoltà che in parecchi casi deve ritenersi come indipendente dalla trasparenza loro. E supponendo Melloni, dopo le sue sperienze, che nel vetro e nelle altre sostanze perfettamente limpide e scolorate vi fosse una *qualità invisibile*, del tutto analoga alla colorazione, si avvisò chiamar questa *termocrosi*. Così la *diatermansia* dinota la facoltà di trasmettere una data porzione aliquota della irradiazione calorifica, e la *termocrosi* la facoltà di dar passaggio, in certi casi, ad alcuni raggi soltanto particolari contenuti nel fascetto di calore incidente. Questa distinzione è indispensabile, dappoichè due corpi che fossero esposti alla radiazione della medesima sorgente, possono manifestare lo stesso grado di diatermansia, mentre che posseggono termocrosi opposte, e perciò il calore emesso da uno di essi, viene compiutamente intercettato dall'altro, ed al contrario; come succede per un cristallo di allume, pel vetro verde, ovvero nero di una data grossezza. D'altronde una piastra di salgemma piena d'impurità, ed una lamina di selenite (calce solfata), o di acido citrico, esposte alla irradiazione di un corpo incandescente, potranno sembrar dotate della stessa diatermaneità; ma ove si espongano alla irradiazione di un corpo riscaldato a + 400°, si vedrebbe che la stessa piastra di sale continua a trasmettere la medesima porzione aliquota di calore incidente, laddove l'altra non dà più verun' effetto sensibile. La prima trasmissione dunque deve attribuirsi alla diatermaneità, e la seconda alla termocrosi. In siffatto modo considerando gli altri fenomeni, riesce facile spiegare tutt'i fatti tanto svariati sinora scoperti da Melloni intorno alla trasmissione calorifica, e perciò la diatermansia o trascalescenza, non è una creazione ipotetica, ma essa invece serve come pura idea di confronto, tratta da due ordini di fenomeni in tutto analoghi, dappoichè ove tolgasi il nome ed il parallelo, si vedrà che la pretesa ipotesi cambiasi in una semplice espressione di fatti osservati. (1)

(1) Pouillet, nella 4. edizione di fisica stampata a Parigi nel 1845, al vol. II, pag. 449, propone la voce *termanismo* e *termanizzante* per dinotar le so-

157. A queste nozioni su la termocrosi, Melloni aggiunge altri fatti per provare che gli efflussi calorifici delle varie sorgenti sono composti realmente di diversi elementi più o meno facili ad essere assorbiti non solo nell'interno, ma anche negli strati superficiali de'corpi.

Alcune recenti sperienze fatte, gli hanno dimostrato evidentemente, che vi ha ne'corpi una facoltà, in virtù della quale ogni punto della loro superficie diffonde più o meno calore, e rimanda in ogni direzione quello che lo percuote allo stato radiante. Questa *potenza diffusiva*, del tutto analoga a quella facoltà ottica per la quale i corpi acquistano a' nostri occhi la proprietà di apparir bianchi, neri, o diversamente colorati, studiata attentamente nelle varie sue apparenze, conduce ad una singolare conseguenza, quella cioè che la carta, la neve, il carbonato di piombo, ed altre sostanze bianchissime, operano allo stesso modo su le radiazioni calorifiche, come le superficie vivamente colorate su le radiazioni luminose. Così alcuni raggi di calore sono fortemente assorbiti dalla carta, e pochissimo riflessi, ed altri invece sono rimandati con forza, e perciò debolmente assorbiti. Lo stesso succede di una falda di panno rosso, verde, o giallo esposta successivamente a luci di differente colore. Supponghiamo un osservatore racchiuso con questi panni in una stanza buja in cui si facesse penetrare un fascio di luce rossa per un foro chiuso da una lamina di vetro di questo colore: egli vedrebbe il panno rosso vivacissimo, il verde oscuro ed appena visibile. Che se poi al vetro rosso si sostituisca il verde, le apparenze si faranno contrarie, il fascio di luce verde che cade su le due falde di panno, farebbe vedere il verde assai vivido e brillante, ed il rosso indistinto e fosco.

158. Ma si trovano sostanze che assorbiscono, o riverberano sempre con eguale e grande energia ogni specie di raggiamento calorifico, le quali quantunque d'ordinario colorate, sono propriamente le *materie nere* e *bianche del calore*. Il nerofumò è nella prima classe, e nella seconda vi sono i metalli tersi e puliti, o privi di ogni lucentezza. Ammessa in questi casi una eguaglianza di assorbimento, come l'ha provato Melloni, si perverrà a poter determinare le vere relazioni di quan-

stanze che scelgono de'raggi particolari per assorbirli di preferenza; e *calore termanizzato* quello che è stato modificato dalle sostanze termanizzanti, come si dice luce colorata quella che è stata modificata dalle sostanze coloranti. Ma Melloni fa osservare, che queste voci comunque sembrassero più comode e spedite, esse non vanno esenti da obiezioni, dappoichè la loro radice greca vale soltanto *caldo*, *calore*, e perciò *termanismo*, *termanizzante*, *termanizzato* suonano soltanto *riscaldamento*, *riscaldante*, *riscaldato*; espressioni che sono scevre di qualunque allusione che vuol farsi al principio fondamentale per le quali si sono adoperate dal fisico italiano.

tità esistenti tra le varie specie di calore. E poichè la fisica manca assolutamente di strumenti insensibili alla *qualità*, e che misurino la sola *quantità* di luce o di suono, ne segue che da questo lato la scienza dell'Ottica e quella dell'Acustica sono inferiori alla scienza delle radiazioni calorifiche.

159. Le considerazioni risultanti da questa *potenza diffusiva*, così stabilita da Melloni, devono modificar molte conseguenze dedotte dalle antiche sperienze sul calorico raggiante. Così ammesso che i corpi assorbiscono tanto più calore quanto maggiore è la loro facoltà di tramandarlo, si era dopo questo principio persuasi, che per determinare gli assorbimenti di due date sostanze, bastava applicarle su le facce del cubo di Leslie, ed osservar l'effetto prodotto da ciascheduna di esse su lo strumento termoscopico. Ma se questo mezzo dava cognizione delle facoltà relative di emissione e di assorbimento delle due date sostanze pe' raggi di un corpo riscaldato alla temperatura dell'acqua bollente, da ciò non poteva inferirsi che gli assorbimenti si mantengono eguali sotto l'azione delle altre radiazioni calorifiche. E difatti, basterà addurre all'uopo il nerofumo e la cerussa, sostanze che son perfettamente eguali per l'emissione e però anche per l'assorbimento, alle sorgenti eguali a $+100°$, o presso a poco intorno a questa temperatura, che diventano dipoi tanto distinti sotto l'azione de' raggi delle fiamme e de' metalli incandescenti; che la seconda sostanza, cioè la cerussa, assorbisse una quantità di calore due o tre volte minore del nerofumo. Il nerofumo dunque si comporta nello stesso modo verso qualunque specie di calore, e perciò si riscalda egualmente, mentre che i raggi dell'incandescenza patiscono una vivissima diffusione su la cerussa, la quale disperde pochissimo i raggi delle sorgenti che hanno una bassa temperatura, ed in conseguenza deve essa in quest'ultimo caso riscaldarsi fortemente, ed assai meno sotto l'azione dell'incandescenza e quella delle fiamme.

160. Fa ancora osservare Melloni, che per mostrar l'essere della facoltà assorbente, Leslie soleva distendere successivamente le sostanze su la superficie di uno specchio concavo, e poi ne deduceva il grado di assorbimento dalla elevazione più o meno grande di temperatura prodotta sul termometro focale, mentre lo specchio riceveva l'efflusso calorifico dal vaso pieno di acqua bollente. Ma questo metodo non è applicabile per tutt'i casi, perchè ve ne ha moltissimi in cui osservasi, che la sostanza applicata su la superficie dello specchio, non è liscia e lucente, e perciò può allora succeder che nasca una riverberazione o diffusione vivissima la quale, opponendosi all'assorbimento, non fa concentrare i raggi nel foco dello specchio.

Dopo queste considerazioni, a ragione Melloni insiste per-

chè debbasi assolutamente separare quando si attiene alla riflessione propriamente detta del calorico, da'fenomeni che spettano alla *potenza diffusiva* de'corpi. Così nella riflessione, i raggi calorifici si riflettono seguendo la stessa legge de'raggi lucidi, e perciò in ogni caso particolare, la ripercussione specolare del calorico succede costantemente *con la medesima energia*, qualunque si fosse la natura del raggio incidente; ma nella potenza diffusiva succede l'opposto, perchè la massima parte de'corpi riverberano una porzione di calore *variabile* con la qualità della radiazione, proprietà, la quale sembra del tutto contraria all'ipotesi che ammette derivar la diffusione da una riflessione irregolare. Il perchè osserva egli che per non confondere queste due azioni tanto distinte della materia, ed aversi un ordine nello studio del calorico raggiante, si dovrebbe trattar la riflessione subito dopo le prime nozioni su la propagazione, e farla dipoi seguire dalla rifrazione, perchè si avessero così riunite in una prima sezione le leggi generali degli efflussi calorifici; esponendo nella seconda le proprietà della diatermansia e delle tre potenze emissiva, assorbente, e diffusiva. Una terza parte tratterebbe in ultimo della polarizzazione.

161. Dal complesso delle sperienze, variando la nettezza, la grossezza, e la natura delle piastre riflettenti, è stato condotto Melloni a'risultamenti generali seguenti;

1. Più il pulito è perfetto, ad eguali condizioni, più la quantità di calorico che traversa le piastre è considerevole.

2. La quantità di calorico che passa attraverso le piastre della stessa grossezza, ma di natura differente, è assai variabile, poichè il cristallo di rocca affumicato ne lascia passare più del cristallo scolorato; il salgemma è poi il corpo che ne lascia passare più, e l'allume il meno degli altri.

3. La quantità di calore che traversa una lamina diafana diminuisce, ad eccezione del salgemma, a misura che la sua grossezza aumenta.

4. Una sola lamina produce più effetto che due lamine soprapposte, quantunque la grossezza della prima sia eguale a quella della risultante delle due ultime.

5. Nella soprapposizione di più lamine della stessa natura o di natura differente, l'effetto prodotto è indipendente dall'ordine di soprapposizione.

6. Quando si fa cadere sopra una stessa lamina un fascio di raggi di eguale intensità, ma che proviene da sorgenti differenti, le quantità di calorico trasmesso, sono altrettanto più piccole quanto la temperatura propria di ciascuna sorgente è minore; la differenza è altrettanto più piccola quanto le lamine sono più sottili.

7. Il calorico raggiante che ha traversato una sostanza dia-

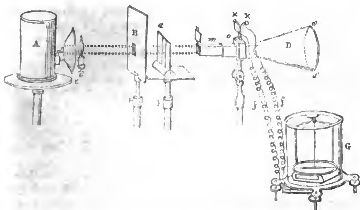
termica è più o meno capace di essere trasmesso da altre sostanze.

8. Quando i raggi calorifici traversano una lamina, essi patiscono nelle due superficie delle riflessioni che li fan perdere i 0,077 della loro intensità primitiva.

9. La quantità di calorico trasmesso risulta dalla somma totale de'raggi che emergono dopo aver provato 2, 4, 6, ec. riflessioni; ma i raggi che escono dopo 4, 6 riflessioni, hanno una così debole intensità, che può trascurarsi, comunque il loro numero sia quasi infinito.

Ed in ultimo, le sperienze di Melloni tendono ancora a dimostrare, che il calore raggiante emanato da una sorgente, è formato da diverse specie di raggi, in proporzioni variabili, come la luce che è composta di raggi colorati, e che vi sono sostanze che lasciano passare alcuni di questi raggi, ed altre che li arrestano.

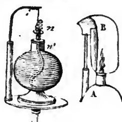
162. Per essere in grado di ripeter le sperienze di Mellone, ecco la descrizione degli apparecchi più generalmente adoperati nelle sue ricerche su le proprietà fisiche del calorico raggiante.



Per osservare i fenomeni del calorico raggiante attraverso le lamine o i diaframmi delle diverse sostanze, si dispongano sopra uno stesso piano le diverse parti dell'apparecchio, in modo che possan correre per un canaletto a fin di avvicinarle o allontanarle, fissandole dopo con viti.

1.° La lampada Locatelli A, col riflessore *e*; 2.° il diaframma B per lo quale si fa passare il fascio di raggi calorifici; 3.° dell'altro diaframma *a* nel quale si situano su la sua apertura le lamine di salgemma, di allume ec., per avere le intensità corrispon-

denti, paragonandole dopo fra esse; 4.° della pila termoelettrica *m* posta in comunicazione del riflessore conico D, il quale serve quando vuole adoperarsi separatamente per esaminare il calorico diffuso che cade su i corpi, quando viene da un inviluppo metallico, o da una spirale di platino riscaldati da una lampada, facendo passare i raggi calorifici prima attraverso un diaframma per farli entrar dopo nell'apertura *o' o''*, e che tiene nel punto *o* infuora i due poli ×× , *ff* della piccola pila, i quali si mettono in comunicazione del termomoltiplicatore G, che descriveremo quando si tratterà degli apparecchi termoelettrici ed elettromagnetici.



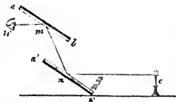
Le due figure di lato mostrano la lampada *n'* sormontata dalla spirale *n*, e l'altra A posta in contatto della lamina metallica B. Tanto l'una che l'altra si situano sul sopporto in cui è la lampada Locatelli A, col riflessore *e*, voltandovi dopo lo specchio conico D dal lato dell' apertura *o' o''*, mettendo i due fili ××, *ff* della pila termoelettrica in comunicazione dello stesso termomoltiplicatore G. La fiamma che vedesi segnata in basso della lamina B trovasi dietro di essa perchè possa riverberare i raggi calorifici.

Con questi apparecchi Melloni facendo operar le diverse sorgenti di calore sopra varie sostanze, notando le deviazioni impulsive corrispondenti nel termomoltiplicatore per dedurne le deviazioni definitive, ed inseguito l'espressione delle intensità, a misura che interponeva successivamente nel foro del diaframma *a* le lamine di salgemma, d'allume, di vetro annerito, di quarzo affumicato *ec.*, per averne le intensità corrispondenti, paragonandole alle prime, ottenne, che il salgemma lasciava passar quasi la totalità del calore per qualunque sorgente adoperata; che l'allume ne lasciava passar sempre una piccolissima porzione, la quale facevasi anche meno sensibile allorchè la temperatura della sorgente era meno innalzata, e quantunque il vetro annerito ed il quarzo affumicato fossero abbastanza opachi, per veder con essi appena il disco del sole, nondimeno lasciavano passare una porzione di calore più grande di quello che avevasi con l'allume, e solo potè notare, che questa porzione anche decresceva col diminuir la temperatura della sorgente. Il salgemma dunque è più delle altre sostanze diatermano per tutte le sorgenti; l'allume assai poco, e tanto meno quanto più la temperatura della sorgente abbassa. La diatermaneità poi del vetro annerito e del cristallo di rocca affumicato, è assai rilevante, quando si paragona con la capacità di loro, quantunque

si vedesse scemar come nell'allume anche quando la temperatura della sorgente si fa minore.

Polarizzazione del calorico.

163. La scoperta della polarizzazione de'raggi luminosi fatta da Malus nel 1808, e l'identità supposta della luce col calorico, indusse Berard nel 1810 ad intraprendere una serie di sperienze su i raggi calorifici, dalle quali potè dedurre, che questi si polarizzano come i raggi di luce. Tale novità posta prima in dubbio da Powel, Melloni e da Nòbili, venne dopo nel 1834 rifermata con più decisive sperienze da Forbes, il quale adoperando sottilissime lamine di turmalina, e delle pile fatte con 8 a 10 lamine di mica, trovò che la piu grande quantità di calorico emanato da una spirale di platino incandescente, giugneva a 0, 4. Ma ripigliando Melloni con l'ordinaria sua accuratezza queste ricerche, adoperando gli stessi suoi apparecchi co'quali aveva arricchita la scienza del calore di tante scoperte, pervenne a confermar non solo che la polarizzazione del calorico seguiva la stessa legge di quella della luce, ma studiandone i più minuti particolari provò, che tutte le specie di raggi calorifici, sottoposte all'azione degli stessi apparecchi che servono per la polarizzazione de' raggi luminosi, sono egualmente e compiutamente polarizzabili; e perciò egli conchiuse, che i raggi calorifici si polarizzano come que'luminosi, per *riflessione* cioè, quando cadono sopra una superficie trasparente con la quale fanno un angolo di 35, 25, e per *rifrazione* semplice e doppia attraverso que'corpi diafani che danno due immagini, come lo spato d'Islanda ec.



Supponiamo un raggio che parta dal punto *c*, e che cada in *n* su la superficie della lastra di cristallo nero *a' b'*, in modo da formare un angolo di 35°, 25', come vedesi segnato nella figura; questo raggio allora si rifletterà seguendo la retta *nm*, facendo su lo stesso piano *a' b'*, che in questo caso dicesi *piano di polarizzazione*, l'angolo di riflessione *nma*, eguale all' angolo d'incidenza *n b b'*. Il raggio così riflesso avrà acquistato proprietà particolari, cioè una certa modificazione, che Malus disse *polarizzazione* (1), e perciò il raggio chiamasi *polarizzato*. Or se

(1) Al tempo della scoperta di Malus, il sistema dell' emissione della luce era il solo dominante. E perciò Newton credeva che in questo caso di polarizzazione, la luce fosse composta di molecole luminose proprie che avevano degli assi e de' poli, intorno i quali i loro movimenti potevano compiersi sotto certe date influenze. Ma osservando Malus che tutte le molecole di lu-

in questo mentre si riceva quel raggio in un punto qualunque del suo cammino sopra un' altra simile lastra di cristallo nero, come *a b*, nel punto *m*, esso patirà in generale una riflessione parziale, la quale diverrà nulla ove la seconda lastra s' inclini in modo da formare anche un angolo di 35°, 25 dalla parte di *n b*, come quello di *b'* ivi segnato, e che si giri senza farle cambiar d'inclinazione, sino che la seconda riflessione succeda nel piano *n m b'*, perpendicolare al piano *c n b'*, nel quale si è operata la prima riflessione. In questa sperienza si osserveranno due posizioni, cioè in una il raggio *n m* incidente su la lamina *ab* vi sarà totalmente riflesso, ed in un'altra sarà intieramente rifratto. Il raggio poi è totalmente riflesso quando il piano *n' m n* è parallelo al piano *m n c*, ed è intieramente rifratto quando i piani *n' m n*, *m n c* formano un angolo retto: in ogni altra posizione de' due piani, il raggio è in parte riflesso ed in parte rifratto dalla seconda lamina *a b*.

Premesso questo principio generale, ammettiamo ora che i raggi polarizzabili provengano dalla fiamma della candela, o da un metallo incandescente, posti nel punto *c*; avverrà allora, che a misura che s' inclina la seconda lastra *a b* sino a portarla sotto lo stesso angolo della prima, cioè di 35° 25, e si fa girare in modo che non cambii la sua inclinazione, si giungerà a trovare un sito in cui la immagine del punto luminoso non sarà più visibile all'occhio posto in *n'*. L' indebolimento dunque dell'immagine che gradatamente succede su la lastra *a' b'* dinota, che la luce è stata già in parte polarizzata da questa lastra; ma essa lo è del tutto dalla seconda *a b*. Questa stessa proprietà la posseggono la più parte de' minerali cristallizzati dotati di una certa trasparenza, a sola differenza, che l'angolo sotto il quale succede il massimo della polarizzazione, è differente.

La polarizzazione dunque de' raggi luminosi e calorifici consiste in una certa modificazione a cui essi van soggetti, la quale è tale da permettere che vengano intieramente riflessi quando cadono sopra una superficie più o meno trasparente, da un certo lato, e sotto un dato angolo, mentre che vengono invece totalmente assorbiti quando, sotto lo stesso angolo, cadono sopra la superficie del medesimo corpo in un lato posto a 90 gradi dal primo; perchè in tutte le altre posizioni intermedie essi sono in parte rifratti ed in parte riflessi. E perciò questa proprietà notevole tanto de' raggi calorifici che luminosi, può esserle comunicata per *rifrazione* o per *riflessione*: per rifrazione

ce provano lo stesso effetto quando si riflettono sul vetro sotto un angolo di 35, 25', suppose che i loro poli erano diretti o disposti della stessa maniera, e perciò dette a questa proprietà il nome di *polarizzazione*, volendo così paragonarla a quella di una calamita che fa rivolgere nella stessa direzione tutt' i poli contrarii di una serie di aghi magnetizzati. (*Ann. of Philosoph.* 11. p. 16).

quando uno o più raggi uniti passano attraverso una sostanza dotata di doppia rifrazione, e per riflessione quando i raggi cadono su la superficie di un cristallo, cioè sul *piano di polarizzazione*, e con cui il raggio fa un angolo di 35°, 25′. Così può in generale ritenersi, che quando si fa riflettere un raggio di calore sopra una lastra di cristallo nero sotto l'angolo indicato, e che dopo se gli presenti sotto lo stesso angolo un'altra lastra simile di cristallo, parallela alla prima, e disposta in modo da poter girare tutta intorno dello stesso raggio incidente senza che cambii d'inclinazione, si perverrà a trovare de' punti situati a 90 gradi l'uno dall'altro, ove il raggio di calore patirà il massimo di riflessione o il massimo di rifrazione. Ora in questo caso, essendo così tutte le molecole calorifiche riflesse o rifratte nella stessa maniera, come sono quelle di luce, ne segue che il raggio calorifico è polarizzato, cioè soggiace alla stessa modificazione a cui anderebbe soggetto un raggio di luce posto nella medesima condizione. L'effetto in ultimo ha luogo tanto col calorico luminoso che oscuro, come aveva già provato Berard, poi Ferbes, e dopo posto in piena evidenza dalle sperienze di Melloni. (1)

164. *Processo di Melloni*—Non potendo il calorico oscuro presentare immagine visibile all'occhio, Melloni adoperò una pila termoelettrica posta in comunicazione col termomoltiplicatore; deducendo la polarizzazione de' raggi calorifici dal massimo o minimo di deviazione dell'ago nello strumento. Egli fece uso di due pile fatte con sottili lamine di mica, di 8 a 10 ciascuna, disposte in modo che i loro assi di rifrazione si trovassero paralleli fra essi, facendovi passare attraverso un fascetto di calorico trasmesso il quale era poi ricevuto dalla pila termo-elettrica posta in comunicazione col termo-moltiplicatore. In siffatto modo potè egli osservare, che quando faceva girare una delle due pile sino che l'asse di essa diveniva perpendicolare all'altra, l'effetto era diminuito, ed il calorico trasmesso era tanto meglio polarizzato quanto più obliquo cadeva il fascetto de'raggi su le lamine di mica. E crescendo dopo il numero di queste, potè giungere ad avere un massimo di deviazione dell'ago nello strumento, e tale, che diveniva costante per le obliquità maggiori; e nello stesso mentre si avvide, che l'inclinazione in cui questo massimo cominciava, dipendeva non solo dal numero, ma ancora dallo stato in cui erano le lamine. Così ove queste erano ben terse e lucide, la medesima coppia di pile polarizzava la stessa proporzione della radiazione incidente, qualunque si era la sorgente calorifica, lo che non succedeva quando lo stato delle

(1) Quanto altro si attiene alla polarizzazione della luce per riflessione, e per rifrazione tanto semplice che doppia, con gli apparecchi proprii per dimostrarla, sarà esposto nell' *Ottica*.

lamine variava in pulito ed in lucentezza. La proporzione dunque di calorico polarizzato aumenta con l'obliquità; ma nel crescere il numero delle lamine nelle pile, esso raggiunge un *maximum* che conserva anche nelle obliquità maggiori.

Le sperienze di Forbes, fatte su lo stesso soggetto, lo portarono a pensare, che la proporzione di calore polarizzato aumenta con la temperatura della sorgente; ma Melloni dimostrò dopo, che questa conseguenza non era conforme a'fatti da lui osservati, e che se tanto pare avvenire quando adoperansi lamine di turmalina invece di quelle di mica, ciò tien ragione a'loro diversi colori, ed al termanismo differente di esse.

La polarizzazione del calorico succede parimente adoperando lamine di turmaline brune o brune rossicce, tagliate parallele al loro asse; con alcuni minerali sfogliosi, come il solfato di calce; una serie di sottili lastre di cristallo ec. Così quando si guarda la fiamma di una candela attraverso una lamina di turmalina, e sen frapponga fra questa e l'occhio una seconda che si fa girar lentamente nel suo piano, ad ogni quarto di rivoluzione la fiamma si vedrà e non si vedrà alternativamente, passando allora per tutt'i gradi intermedii di chiarezza; e solo quando gli assi delle lastre si trovano paralleli, la fiamma si vedrà più brillante, perchè se sono normali, allora o non sarà visibile, o pochissimo. Ma ciò succede quando si adoperano lamine di turmalina sottili, perchè quelle di una data grossezza, dopo aver divisa la luce in due raggi polarizzati, uno ne rimane assorbito, e perciò gli oggetti non più si veggono raddoppiati. La polarizzazione dunque del calorico in queste lamine anche succede, a differenza solo, che esse assorbono uno de'due raggi di calorico oscuro che risultano dalla doppia rifrazione, e non già totalmente come avviene per i raggi di luce. Il perchè osservasi, che quelle lamine che arrestano tutta la luce, spegnono debol porzione della radiazione calorifica, e perciò l'azione polarizzante che è eguale e costante per qualunque luce colorita, vedesi poi sì variabile pel calorico, del quale, nelle medesime lamine, alcune radiazioni danno appena 1 a 2 centesimi, ed altre ne dinotano sino a 96. (*Ann. de chimie et de phys.* t. LXI, pag. 375 — *Comptes rendus* ec. 1840, *sem.* 1. p. 826.)

Equilibrio di temperatura, e riflessione apparente del freddo.

165. Quando due o più corpi hanno temperature differenti, i più caldi cederanno a'più freddi calorico sino che dopo qualche tempo il termometro li dinota tutti alla stessa temperatura. L'effetto ha luogo sia per *emissione* o *vibrazione* a certa distanza, sia per *contatto*, cioè per *trasmissione* del moto dell'etere per le oscillazioni di molecole a molecole, sino che vi ha *equilibrio* di

moto o *di temperatura*. Con ciò noi diamo ragione della sensazione di caldo e di freddo quando tocchiamo corpi più caldi o più freddi della nostra mano, e di alcuni fenomeni che nell'osservarli sembrano a prima vista inesplicabili. Così le acque dei pozzi, e la temperatura delle cave sotterranee, ci sembrano fredde nella state e calde nel verno; ma ove si rifletta, che tanto la temperatura delle prime che delle seconde è quasi costante nelle due stagioni, e va da' + 10 a 12 gradi, e che noi possiamo nella state trovarci tra + 20 a 30°, e nel verno prossimamente vicino lo zero, o qualche grado al di sotto, sarà facile dedurre, che dovremo provar la sensazione di caldo nel verno, quando la temperatura dell'aria è tra 0° a + 2°, e di freddo nella state se la temperatura è tra 20° a 24°. Un altro fenomeno volgare sembra ancora inesplicabile, ed è, che stando più corpi nella medesima stanza tutti in equilibrio di temperatura, toccando noi quelli che sono più densi, come metalli, marmo ec., ci sembran freddi, e caldi o quasi indifferenti quelli meno densi, come lana, cotone ec. Ciò deriva dalla *conducibilità* per lo calorico che hanno i primi maggiore de'secondi; e perciò provando con quelli, cioè co'più densi, più perdita di calorico che con i meno densi, noi sperimentiamo le due diverse apparenti sensazioni di caldo e di freddo, quantunque tutti que' corpi si trovassero in un perfetto equilibrio di temperatura.

Prevost spiegò per mezzo di siffatte ragioni altro fenomeno più rilevante, osservato da de Sausurre e Pictet. Esso consiste in questo. Quando nel foco E dello specchio segnato a pag. 82, invece di corpo caldo si mette un pezzo di ghiaccio, si vedrà il bulbo E' del termometro differenziale segnare gradi di freddo, il contrario cioè che osservasi quando si adopera un corpo caldo.

Più fisici (1) pensarono che ci fosse un *fluido frigorifico sui generis*, come quello del calorico, e che si riflettesse come quest'ultimo seguendo le stesse leggi. Ma nell'opporsi Prevost all'ammissione del nuovo fluido fece osservare, che l'*apparente riflessione* del fluido frigorifico era puramente dipendente dalla legge dell'equilibrio di temperatura esposta; dappoichè, essendo dimostrato che tutti i corpi hanno facoltà di radiar calorico, e che i più caldi ne radiano più de' meno caldi, trovandosi, nel fatto esposto, il bulbo del termometro e l'aria nella prima condizione, ed il ghiaccio nell'ultima, deve di

(1) Muschembroek e di Mairan considerarono il freddo come una materia salina che aveva molta analogia col nitro, ed in cui vi supponevano annidate le *particelle frigorifiche*. Questa teorica confutata da Blak, fu sostenuta nuovamente dalle predette sperienze di de Sausurre e Pictet. (*Annal. de Chim.* t. LXXI, pag. 259).

conseguenza il calorico passar dal termometro al foco dello specchio in cui trovasi il ghiaccio, e lo strumento termoscopico perderne continuamente per la tendenza che ha il calorico all' equilibrio. E difatti, se lo sperimento si fa nel verno, allorchè l' aria ed il termometro sono alla temperatura del ghiaccio, quell' effetto non avrà più luogo.

Leggi del raffreddamento e del riscaldamento.

166. Quando un corpo trovasi posto in un ambiente qualunque, per la tendenza che il calorico ha all'equilibrio, dopo qualche tempo, e secondo le circostanze, esso perde tanto più calorico in un tempo dato, quando maggiore è la sua temperatura su quella del mezzo che lo circonda. Egli è naturale che in questo caso deve succedere nello stesso mentre *riscaldamento* del mezzo ambiente, e *raffreddamento* del corpo. Supposto poi che il raffreddamento avvenga nel vuoto, la perdita allora di calorico proviene unicamente dal raggiamento, o piuttosto dalla differenza tra questo e quello del ricinto nel quale è posto; ma ove succedesse nell'aria o in altro gas, la perdita allora di calorico deriverebbe inoltre dall' aria o dall'altro gas che lo circonda; perchè fattasi l'aria più calda pel contatto col corpo, diviene più leggera e se ne discosta, ed altr' aria deve surrogarla senza interruzione.

167. I liquidi più caldi dell'ambiente, e di massa qualunque, avendo essi omogeneità perfetta in tutte le parti, la loro temperatura, che decresce a ciascun istante, dev' esser la stessa in tutta la loro massa; ma ne' corpi solidi ciò non si avvera, se non quando si adoperano in masse assai piccole, perchè nelle più grandi, la temperatura varia da un punto all'altro, dovendo essa dipendere, a differenti istanti, dalla conducibilità propria del corpo.

168. I fenomeni del raffreddamento diventano complicatissimi ne' corpi solidi, e difficili a determinarsi con l'osservazione, e solo ne' fluidi riesce più facile disvolgerli. Ne' primi, la lenta mobilità, e la poca omogeneità delle differenti parti, permette solo al calorico di operare nell' interno della loro massa per lo raggiamento delle molecole; il che deve stabilire in quelle parti una ineguaglianza di temperatura in tutta la durata del raffreddamento del corpo e riscaldamento dell'ambiente in cui si trova, e perciò solo le masse assai piccole posson dare risultamenti prossimamente più esatti. Ma non avviene lo stesso quanto a' fluidi, dappoichè essendo eguali i movimenti interni delle molecole tutte, deve il calorico propagarvisi più facilmente, e perciò posson considerarsi, almeno nel maggior numero dei casi, come capaci di ritenere a ciascun istante del loro raffred-

damento la stessa temperatura in tutt' i punti della loro massa.

169. I fenomeni dunque del raffreddamento dipendono da intrigate cagioni, e perciò le leggi con le quali si è cercato darne ragione, han dovuto offerire non poche difficoltà per poterle stabilire. Newton partendo dal principio cavato dall' osservazione, quello cioè, che un corpo assai caldo, posto in un ambiente che lo è meno, nel perder l' eccesso di calorico in ciascun istante dato, deve perderne meno nelle stesse unità di tempo successive, a misura che si fa meno caldo, ne trasse *a priori* la seguente legge « un corpo riscaldato e sottomesso ad una cagione costante di raffreddamento, come una corrente di aria uniforme, prova a ciascun istante una perdita di calorico proporzionale all'eccesso della sua temperatura su quella del mezzo che lo circonda » e conseguentemente le perdite di calorico debbono formare una progressione geometrica (1). Il perchè deve risultarne, 1 che a misura che il corpo si raffredda, deve in ciascun istante perder meno calorico; 2 che a misura che un corpo è riscaldato da una sorgente calorifica, la perdita che ne fa pel raggiamento, aumenta a ciascun istante, e perciò deve arrivare un momento in cui ciò che esso perde è eguale a ciò che riceve, ed in conseguenza in questo momento la sua temperatura deve rimanere stazionaria.

170. Kraft e Richmann verificaron dopo questa ipotesi con l'esperienza, e la trovarono esatta sino a quando l'eccesso di temperatura del corpo sopra quella del mezzo ambiente non sorpassava i 20 a 30 gradi centigradi, perchè più innanzi la differenza tra i risultamenti dell'esperienza e quelli cavati dal calcolo, diveniva altrettanto più rilevante, quanto più l'eccesso era considerevole. La stessa inesattezza nella legge di Newton trovarono Rumfort, Dalton, Erxleben, de Martine, Delaroche, e Leslie, e perciò erasi dopo da essi pensato, che durante il raffreddamento i tempi formassero una progressione aritmetica, ed i gradi del raffreddamento seguissero una progressione geometrica; ma dopo l'importante lavoro di Dulong e Petit,

(1) Le formole date da Newton sono:

$$log.\ T = log.\ A - \frac{at}{2,30}\ ;\ e\ \ V = a\ T$$

A dinota la temperatura iniziale del liquido; T la sua temperatura dopo il tempo *t*; *a* è un coefficiente costante, e V dinota la celerità del raffreddamento, cioè quello che succederebbe durante l'unità di tempo per un eccesso T di temperatura del corpo sopra quella del mezzo che lo circonda, supponendo che questo eccesso resti costante.

Col soccorso della prima formola potrà trovarsi la temperatura T dopo il tempo *t* quando si conosce il valore di *a*, che dipende dal peso del liquido, dalla natura e dalla estensione dell' inviluppo, il che può determinarsi con una sola esperienza. La seconda dà la celerità del raffreddamento quando si conosce l'eccesso della temperatura del corpo sopra quella dell'aria che lo circonda (*Scala gradum caloris*. Philosophical Transactions, 1701).

questa legge sarebbe vera solo per un corpo che si raffreddasse nel vuoto, ed in un circuito assolutamente privo di calorico, o privo della facoltà di raggiarlo; o in altri termini, che questa legge non sarebbe esatta, se non pel *raffreddamento per irradiazione*.

171. Nelle circostanze ordinarie del raffreddamento, fa duopo tenere in conto nello stesso tempo le perdite cagionate dal raggiamento, e quelle che derivano dal contatto dell'aria o di altro fluido elastico che circonda il corpo, ed in conseguenza la legge diviene complicatissima. Perciò Dulong e Petit han cercato con molto accorgimento la legge degli effetti dovuti all'una ed all'altra cagione. Così, conosciute le leggi del raffreddamento nel vuoto, riesce men difficile determinar la porzione di calorico perduta dal corpo pel suo contatto col fluido elastico nel quale trovasi immerso; e perciò basta osservare il raffreddamento del corpo nel gas quando si è già notato quello che succede nel vuoto, perchè l'effetto cercato sarà la differenza fra i due effetti osservati. Non pertanto è impossibile ridurre queste leggi ad una semplice enunciazione che possa comprenderne tutt'i particolari, e perciò riassumendole quanto è possibile, ci limiteremo ad esporne i soli risultamenti generali.

172. *Raffreddamento nel vuoto, o per irradiazione.* Se potesse osservarsi il raffreddamento di un corpo posto in uno spazio vuoto terminato da un ricinto privo assolutamente di calorico, o della facoltà d'irradiarlo, in questo caso, le *celerità del raffreddamento* (1) *decrescerebbero in progressione geometrica, quando le temperature diminuissero in progressione aritmetica.*

Per la stessa temperatura del ricinto vuoto nel quale è posto un corpo, le celerità del raffreddamento, per gli eccessi di temperatura in progressione aritmetica, decrescono *come i termini di una progressione geometrica, diminuiti d'un numero costante.* Il rapporto di questa progressione geometrica è lo stesso per tutt'i corpi, ed è eguale ad 1,0077 della scala centigrada, ovvero 1,0098 di quella di Reaumur, e ad 1,0043 di quella di Fahrenheit.

Per uno stesso eccesso di temperatura nel vuoto, *la celerità del raffreddamento cresce in progressione geometrica, quando quella del ricinto aumenta in progressione aritmetica.* Il rapporto della progressione è anche per tutt'i corpi 1,0077, qualunque si fosse l'eccesso della temperatura.

173. *Raffreddamento pel contatto di un fluido elastico.* Il raffreddamento dovuto al solo contatto di un gas, è intieramente

(1) Dulong e Petit intendono per questa espressione il numero de' gradi di cui la temperatura de' corpi si abbasserebbe durante un intervallo infinitamente piccolo e costante.

indipendente dalla natura, dalla forma e dalla superficie dei corpi.

174. La celerità del raffreddamento dovuto al solo contatto di un gas, varia in progressione geometrica, e l'eccesso di temperatura varia anch'esso nella stessa progressione. Se il rapporto di questa seconda progressione è 2, quello della prima è 2,35 qualunque si fosse la natura e la elasticità del gas.

175. Il potere raffreddante di un fluido elastico diminuisce in progressione geometrica, quando la sua tensione scema essa stessa in progressione geometrica. Se il rapporto di questa progressione è 2, quello della prima è 1,366 per l'aria; 1,301 per l'idrogeno, 1,431 per l'acido carbonico, ed 1,415 pel gas oliofaciente (idrogeno bicarbonato).

Questa legge può anche così esprimersi: *Il potere raffreddante di un gas è, a circostanze eguali, proporzionale ad una certa potenza della pressione.* L'esponente di questa potenza, che dipende dalla natura del gas, è 0,45 per l'aria; 0,315 per l'idrogeno; 317 pel gas acido carbonico, e 0,501 pel gas oliofaciente.

La potenza raffreddante di un gas varia con la temperatura in modo, che se il gas nel dilatarsi conserva sempre la stessa forza elastica, la potenza raffreddante si troverà tanto diminuita per la rifrazione del gas, per quanto è aumentata pel suo riscaldamento; cosicchè, in definitiva, essa dipende dalla sua tensione.

176. Ed in ultimo, volendo ottenere l'espressione generale del raffreddamento cagionato dal contatto di un gas, fa duopo avere in conto, 1° che questo raffreddamento è indipendente dalla natura, dalla forma e dalla superficie del corpo; 2° che la temperatura e la densità del gas hanno opera nel far variare la pressione. La potenza dunque raffreddante di un gas dipende unicamente dalla sua elasticità, e perciò questa elasticità, e l'eccesso di temperatura del corpo, sono i soli elementi che fanno variare la celerità del raffreddamento (1).

(1) Se p dinota la pressione, t l'eccesso della temperatura del corpo, e V la celerità del raffreddamento, si avrà:

$$V = M.\, p.^c\, t^b;$$

b è lo stesso per tutt' i gas e per tutt' i termometri, ed è uguale ad 1, 233; c è similmente lo stesso per tutt' i termometri, ma varia da un gas all' altro; m varia con la natura di ciascun gas e con le dimensioni del corpo; $c = 0{,}45$, per l'aria; $0, 38$ per l'idrogeno; m è eguale a 0,009,9 nell'aria, ed a 0,0318 nell'idrogeno pel termometro a superficie nuda.

Questa semplice formola permette di paragonare le potenze raffreddanti dei differenti gas. E prendendo l'aria per unità, sotto la pressione di 0m, 76, si trova esser quella dell'idrogeno eguale a 3, 45, e quella dell' acido carbonico 0, 965.

Or essendo separatamente stabilite le leggi relative a ciascuno de'due effetti che concorrono al raffreddamento di un corpo immerso in un fluido elastico, non rimane che riunirli per aver la legge del raffreddamento totale. Così la

Dilatazione e contrazione de' corpi per effetto di cambiamento di temperatura.

177. Tutt'i corpi cambiano di volume quando si fa variare in essi la temperatura. Ove questa aumenta, vi ha *dilatazione*, ed ove scema, vi ha *contrazione*.

L' operare delle forze si deduce dagli effetti prodotti. Questi effetti sono *attrattivi* o *ripulsivi*. I primi cagionano *contrazione* o diminuzione di volume, i secondi *dilatazione* o aumenta di volume. Essendo lo stato de' corpi dipendente dall' opera delle due forze, o da' due effetti generali delle forze naturali, e che ne'solidi domina la forza attrattiva e ne'gas la ripulsiva, deve operare incessantemente l' una su l' altra. Ma la forza ripulsiva, comunque sempre in conflitto con l'attrattiva, non permette mai che questa conduca le molecole materiali de' corpi nel perfetto loro contatto, ed in conseguenza la forza ripulsiva è sempre dominante su l' attrattiva, e solo può quest' ultima operare, quando scema la prima. Così, posto in confronto l' operare delle due forze, deve seguirne, che stando la potenza attrattiva ne' suoi limiti, dev' essa variar coll' opera della potenza ripulsiva, ed in conseguenza questa sola può presentare all' osservazione tanto gli effetti attrattivi che ripulsivi col far semplicemente variare la temperatura ne' corpi. E difatti, se col crescer la temperatura ne'corpi noi li vediamo aumentar di volume, dobbiamo vederli diminuire quanto si scema. Da questo caso dunque deduciamo, *che la potenza attrattiva è subordinata alla potenza ripulsiva.*

178. Quanto poi a' due effetti, la contrazione cioè e la dilatazione, essi dipendono dalla diversa quantità di calorico, o di moto impresso alle molecole della materia ponderabile, da cui ne conseguita quello dell' etere interposto e quello che circonda i corpi, e ciò perchè operando la potenza attrattiva sotto l' opera della ripulsiva, deve essa variare col crescere o scemar la temperatura ne' corpi.

179. Prendiamo ora un corpo solido caldo, ed immergiamolo nell' acqua o in altro liquido freddo, noi avremo nello stesso mentre contrazione e raffreddamento nel corpo solido, e dilatazione e riscaldamento nel liquido freddo; e se si perviene a

celerità del raffreddamento sarà espressa dalla formola $m\,(ab-1) + n\,tb$; a e b saranno per tutt' i corpi ed in tutt' i gas eguali, la prima ad 1,0077, e la seconda ad 1,233. Il coefficiente m dipenderà dalla grandezza e natura della superficie del corpo e della temperatura del recinto. Il coefficiente n che è indipendente da questa temperatura assoluta e dalla natura della superficie del corpo, varia nondimeno con la elasticità e con la natura del gas nel quale il corpo viene immerso, ma le variazioni seguono le leggi indicate più sopra. (Dulong e Petit, *Ann. de Chimie. et de Physique*, t. 7.).

misurare i cambiamenti di volume che ne risultano, si avrà che la quantità necessaria di calorico per ricondurre il corpo solido al suo volume primitivo, è eguale a quella che produce la dilatazione osservata nella massa liquida. In generale dunque, quando due corpi sono posti in contatto o mescolati, e che l'uno non opera chimichamente su l'altro, gli effetti prodotti dinoteranno perdita di calorico e diminuzione di volume nei più caldi, ed aumento di temperatura e di volume ne' più freddi; dappoichè ciò che perdono i primi, lo acquistano i secondi, e quando si determinano i due effetti contrarii, si avrà, che le quantità di calorico perdute o acquistate sono eguali e equivalenti fra esse.

180. Vi ha similmente contrazione e dilatazione quando operasi con un cilindro di ferro o di altro metallo che passa esattamente per un foro praticato sopra una lamina metallica, perchè quando questo riscaldasi fortemente si vedrà che non più vi passa attraverso come prima, per essersi dilatato e cresciuto di volume, ma dopo raffreddato vi passerà facilmente, perchè la contrazione lo avrà ricondotto al volume primitivo.

I termometri a liquidi e ad aria ci presentano gli stessi effetti, ed in modo assai più sensibili. Tutti sanno che il caldo fa prolungare la colonna liquida ne' primi strumenti, ed il freddo fa accorciarla, e ne' secondi tenendo l' aria il posto del liquido, quello che ne segna la sua dilatazione o contrazione, si allunga invece col freddo e si accorcia col caldo. Or quantunque si fosse detto essere i liquidi incompressibili, o che si costipino appena sotte enormi pressioni, nondimeno il freddo li costipa, ed il caldo li fa crescere di volume assai sensibilmente.

181. Una vescica ordinaria con chiave, che fosse piena pe'due terzi di aria o di altro gas, si vedrebbe tutta gonfia col riscaldarla, e tornare al volume di prima dopo essersi raffreddata. Gli effetti dunque sono sempre gli stessi, cioè dilatazione e contrazione, e perciò i corpi tutti, a qualche sola apparente eccezione, si dilatano quando si riscaldano, e si ristringono quando si raffreddano, o che riscaldati si riconducano alla temperatura di prima; il perchè tanto col proseguire a crescere, quando collo scemar la temperatura, essi debbono sempre più dilatarsi o restringersi successivamente. In generale poi, per la stessa quantità di calorico, i solidi si dilatano meno de'liquidi, e questi meno de'gas.

182. Questa legge generale sembra nondimeno offerire alquante eccezioni, ma queste sono apparenti e non tali da poterla alterare. Così quando l'acqua è prossima ad agghiacciarsi, cresce invece di diminuir di volume; e le sostanze organiche, alcune pietre, le argille, si ristringono per lo contrario coll'aumentar

la temperatura. Ma tali apparenti anomalie si spiegano facilmente. Nel primo caso quando le molecole dell'acqua sono per assumer lo stato solido, si dispongono in gruppi cristallini, sovente simmetrici, e perciò lasciano spazii più ampii ed occupati dall'aria ; dal che ne conseguita, che la neve deve galleggiar su la stessa acqua. E di fatti, ove in una piccola campana piena di acqua e capovolta in un recipiente su la stessa acqua, vi s'introduca di sotto un pezzo di neve, si vedrà questo portarsi nell'alto, e svolgere infinite bollicine di aria. Nel secondo caso poi, quando si riscaldono le materie organiche, o le argille, si vedrà che dopo il raffreddamento esse avran perduto una quantità di acqua o di altre materie, e perciò il peso loro si trova sensibilmente diminuito ; l'apparente ristringimento dunque va dovuto alla perdita delle sostanze accennate, e non perchè il calorico invece di dilatar que' corpi, li fa diminuir di volume.

Dilatazione e contrazione de' corpi solidi.

183. La dilatazione de' corpi solidi perchè riguarda molto le ricerche fisico-chimiche, ed in ispecialità le arti, per le tante applicazioni che sovente bisogna farne, è stata esaminata accuratamente da Laplace e Lavoisier, da Ramsden, da Roy, e sopratutto da Dulong e Petit con quella precisione che essi han posta in tutte le loro ricerche.

Laplace e Lavoisier avevan dedotto dalle loro sperienze, che le dilatazioni in uno stesso corpo solido sono uniformi da zero sino a 100°, cioè che per uno stesso numero di gradi compresi fra questi due limiti, la lunghezza delle barre aumentava di una frazione simile. Dulong e Petit trovarono dopo, che per uno stesso grado la dilatazione cresceva con la temperatura, e che da 0° a 100° questo aumento era insensibile, ma da 100 sino a 300 esso diveniva considerevole, e la variazione diveniva più forte per ciascun grado compreso fra 200° e 300°, che fra 100° e 200°. Questo accrescimento si faceva poi più sensibile verso il termine della fusione de'corpi, e poteva variare considerevolmente da un corpo all'altro.

Dulong e Petit esaminarono ancora la dilatazione *lineare*, quella delle *superficie*, e la dilatazione *cubica* o de' *volumi*. Essi provarono, che la dilatazione delle superficie è doppia della lineare, e quella de' volumi è sensibilmente tripla. Così volendo conoscere una delle dimensioni che un corpo ritiene a zero, e quella che acquista nella lunghezza di questa dimensione per un aumento qualunque di temperatura, dovrà moltiplicarsi la lunghezza del corpo per la dilatazione lineare e per la temperatura che si trovano nella tavola qui sotto segnata, in

cui i numeri dinotano le dilatazioni corrispondenti ad 1° grado del termometro centigrado.

Coefficienti di dilatazione lineare de' corpi solidi per 1° grado centesimali, da 0° a 300°. (Dulong e Petit).

		Frazioni decimali.	Frazioni ordinarie
Platino,	da 0° a 100°	0,00088420	1/1131
Idem,	da 0° a 300°	0,00275482	1/363
Vetro,	da 0° a 100°	0,00086133	1/1161
Idem,	da 0° a 200°	0,00184502	1/544
Idem,	da 0° a 300°	0,00303252	1/329
Ferro,	da 0° a 100°	0,00118210	1/846
Idem,	da 0° a 300°	0,00440528	1/227
Rame,	da 0° a 100°	0,00171820	1/582
Idem,	da 0° a 300°	0,00564972	1/177

La sopradetta tavola dà la dilatazione in una sola dimensione, cioè la lineare, ma può facilmente dedursi la dilatazione cubica, o quella del volume, sapendosi esser questa sensibilmente eguale a 3 volte la dilatazione lineare. Il perchè trovandosi ciascuna molecola ne' corpi omogenei non cristallizzati, disposta nella stessa maniera per rapporto a quelle che la circondano, la dilatazione deve esser la stessa in tutte le direzioni. Così supponghiamo che si tirino nell' interno di un solido tante linee disposte in modo qualunque, dovranno di conseguenza esse serbare ne' corpi dilatati gli stessi rapporti di lunghezza, e perciò quando un corpo si dilata, deve conservar sempre una forma simile a quella che prima aveva.

184. Nel processo adoperato da Dulonge e Petit, per conoscere la dilatazione cubica o de'volumi, deve sapersi precedentemente la dilatazione assoluta del mercurio e quella del corpo solido in cui è chiuso, perchè da quest' ultima si avrà la differenza fra la dilatazione assoluta e quella apparente (1). Così la dilatazione apparente del mercurio contenuto in un vaso di vetro, dà la dilatazione assoluta di questo metallo, diminuita della dilatazione di un volume del vetro eguale alla capacità del vaso. Supponghiamo ora che si conosca il rapporto fra la capacità di

(1) La dilatazione de' liquidi e de' gas può essere *apparente* ed *assoluta*, ma quella de' solidi è sempre assoluta. Così quando il mercurio o l' aria ne' termometri si dilatano ovvero si costipano deve nello stesso mentre avvenire dilatazione e costipazione nel vetro in cui sono racchiusi, e perciò l' aumento o diminuzione nel volume de' due fluidi deve dare la differenza fra i due effetti La dilatazione dunque che osservasi nel mercurio in un termometro per opera del riscaldamento, deve dare la sola dilatazione apparente, come lo è parimente la diminuaione prodotta per raffreddamento, ed in conseguenza per averne il valore assoluto fa duopo aumentarla o diminuirla per quanto aumenta o scema quella del vetro.

una divisione di un termometro, e quella del suo serbatoio sino a zero; sia p la quantità di mercurio contenuto in una divisione, P il peso totale del mercurio racchiuso nel termometro, e che per un numero di gradi t, il mercurio si dilati di n divisione; allora la dilatazione apparente per l'unità di volume e di temperatura, sarà evidentemente $\frac{p\,n}{P\,t}$.

Questi risultamenti sono gli stessi qualunque si fosse la spessezza del vetro, e perciò il volume interno di un vaso ha una dilatazione eguale a quella di un egual volume della materia di cui è formato il vaso.

185. Nell'inviluppo di vetro il mercurio da 0° a 100° si dilata di un 0,00015434. Conosciuta questa dilatazione del mercurio, Dulong e Petit poterono trovare quella del vetro, adoperandone un cilindro chiuso da una parte ed aperto dall'altra estremità a cui eravi saldato un piccolo cannello da termometro, e curvato ad angolo in modo da potere raccogliere il mercurio che ne usciva per effetto della sua dilatazione. Il cilindro conteneva presso a poco 700 gramme di mercurio, e postolo orizzontalmente in un recipiente, in modo che la estremità curva ne uscisse fuora, stando così quel cilindro tutto immerso in altro mercurio, fu questo successivamente riscaldato da zero a 100°, a 200°, a 300°, (sapendosi che il mercurio bolle a 360° gradi centigradi). La dilatazione apparente era data dalla quantità di mercurio che usciva dall'apertura capillare del cannello aggiunto, a ciascuna operazione; e quantunque la quantità uscita fosse stata troppo piccola, nondimeno essa bastava per dinotare la dilatazione del vetro, senza la quale non sarebbe uscita, e ciò perchè la dilatazione del mercurio era di gran lunga maggiore di quella del vetro: la differenza dava la dilatazione cubica del vetro. Or l'esperienza ha provato, che ogni sorta di vetro si dilata di una quantità uniforme da 0°, sino a 100, e questa è, per ciascun grado del termometro, di un 0,0000258, e di 0,00258 da zero sino a 100°.

La dilatazione, o il coefficiente di dilatazione lineare dello stesso vetro è,

da zero a 100	0,00086133
— 100 a 200	0,00098379
— 200 a 300	0,00118750

186. Quanto alla dilatazione della superficie, supponghiamo un vaso vuoto fatto da una sostanza omogenea, egli è naturale, che a misura che si riscalda deve aumentar di volume, ed in conseguenza di capacità per effetto della dilatazione delle sue parti, e ciò succede allo stesso modo come se il vaso fosse pie-

no della medesima materia solida che ne costituisce le sue pareti. In quest'ultimo caso supponghiamo nell'interno di questo corpo una superficie qualunque che non tagli in alcun modo quella che lo termina o le sue proprie dimensioni, e che il termine di questa sia ad una distanza qualunque. Il corpo allora, limitato da quest'ultima superficie, si dilaterà in se stesso o in tutte le sue dimensioni della medesima quantità che se fosse libero; ed in conseguenza dovrà avvenir lo stesso della materia contenuta fra la superficie totale del corpo e quella che si è immaginata che potesse riempirne il suo interno; da ciò deve seguirne, che un vaso vuoto deve dilatarsi della stessa quantità che quando fosse ripieno della medesima sostanza di cui è formato.

187. Il cammino progressivo che fa il calorico nel dilatare i corpi ha luogo con molta lentezza, e differisce dal raggiamento per la celerità grandissima con cui camminano i raggi calorifici. Si attribuisce questa differenza alle conducibilità e capacità calorifiche diverse de' corpi, ed al che il passaggio, o la comunicazione del calorico, deve farsi da strato a strato. Così supposto una barra di ferro formata da tanti strati, come 1, 2, 3, 4, 5, ec.; la quantità di calorico che riceve il primo strato, e per la legge dell'equilibrio e per la conducibilità del corpo, dovrà quella del primo strato dividersi per metà col secondo per $\frac{1}{4}$ pel terzo e così di seguito, in modo che diminuendo la quantità di calorico col crescere il numero degli strati, verrà più lentamente trasmesso da un estremo all'altro, quantunque la sorgente calorifica comunicasse successivamente al primo strato nuova quantità di calorico.

La dilatazione de' solidi è resa manifesta col pirometro modificato da Brogniart col quale si dimostra, che i solidi non si dilatano tutti di una stessa quantità. Lo strumento è qui segnato di lato, e consiste in un piccolo cilindro metallico fissato in una estremità per mezzo della vite *a*, e l'altra estremità che passa liberamente pel foro praticato nell'altro piccolo sostegno trovasi in contatto col braccio di leva *b* che muove l'indice *n* su la porzione del cerchio graduato *e e'*. Si riscalda in tutta la sua lunghezza il cilindro metallico col mezzo della lampada ad alcool che li sta sotto, e si vedrà che il cilindro nel dilatarsi urta contro il braccio di leva *b*, e muove l'ago *n*. Volendo paragonare la dilatazione di diversi metalli, debbono questi adoperarsi della stessa



lunghezza e diametro, fusi o passati alla filiera. Per ciascuno di essi la dilatazione è proporzionale alla temperatura, cominciando da 40° sino a + 100°, ma al di la di 100, questa proporzionalità non ha più luogo. In questo modo provasi la dilatazione in *lunghezza* o *lineare*.

188. La dilatazione de'corpi solidi ancorchè nel fatto fosse estremamente piccola, nondimeno essa diviene abbastanza considerevole su le barre o su i condotti di acqua o altro fluido, che fossero assai lunghi; e perciò in un gran numero di casi fa duopo tenerla in gran conto. E difatti, i cilindri vuoti di ferro fuso, destinati alla condotta delle acqua, debbono, per le ragioni esposte, variar nella lunghezza e diametro pe'cambiamenti di temperatura, dovendo essi patire dilatazione col caldo e contrazione col freddo, e nel caso che la lunghezza fosse grande, quelle variazioni debbono farsi considerevoli. Perciò fa duopo calcolarle prima di collocarli in sito, perchè al contrario potrebbero rompersi nelle giunte, e disturbar seriamente la condotta dei fluidi, sapendosi che la forza con la quale i corpi solidi tendono a mutar di volume per effetto del cambiamento di temperatura è assai rilevante, e perciò si deve tenere in seria considerazione. Onde prevenire questi sconci, i cilindri debbono congiungersi per confricamento, a fin di potere ubbidire agli effetti di dilatazione o di ristringimento, e non già fissarli in modo da restarsi fermi in tutta la loro lunghezza. Lo stesso dicasi per le lamine di ferro, di piombo, ovvero di zinco che servono a covrir tetti; le sbarre di ferro che servono per le graticole dei forni ec.

189. La forza prodotta dalla *dilatazione* de'corpi, quando cioè essi tendono a crescer di volume per un aumento dato di temperatura, è evidentemente eguale allo sforzo che farebbe duopo per comprimerli di una quantità eguale alla dilatazione a cui vanno sottoposti. Questa forza è assai considerevole, dappoichè le più grandi pressioni che possono sperimentare i corpi, ed in ispecialità i metalli, vi producono cambiamenti appena sensibili nel volume primitivo. E perciò il limite di questa forza deve pareggiare lo sforzo che dovrebbe operarsi in senzo contrario della estensione per rompere que'corpi, forza che deve variar con la forma del corpo.

190. La forza che tende alla *contrazione*, o alla diminuzione del volume de'corpi per abbassamento di temperatura, è parimenti assai considerevole, ed è eguale allo sforzo che dovrebbe farsi per allungarli di tutta la quantità che tendono a ristringersi. Il limite di questa forza è eguale allo sforzo che dovrebbe farsi per rompere il corpo, tirandolo in senzo contrario del ritiramento. Questa forza, di cui trovasi il valore nelle tavole su la *resistenza al ritiramento*, o su la tenacità, esposta nel vol. 1° di

questo trattato al § 174, dipende solamente dalla più piccola sezione del corpo, perpendicolarmente alla direzione della forza (1).

La rottura degli utensili di vetro, di porcellana ec. per un subito passaggio da una temperatura all'altra, è di conoscenza volgare, come sono tutt' i fenomeni che presenta la congelazione rapida dell' acqua, esposti al § 188 del 1° vol. di quest' opera. Perciò per impedire che i vasi di vetro o di porcellana si rompino per effetto di una pronta dilatazione o contrazione, si deve tanto nel riscaldarli che nel farli dopo raffreddare, aver cura di comunicare o far perder loro il calorico gradatamente. L' effetto deriva dalla poca facoltà conduttrice che hanno tanto il vetro che le materie di cui si compongono le stoviglie, e dalla ineguaglianza delle loro parti. Il perchè avviene che quelle più spesse sono più costipate o dilatate delle altre meno spesse, e perciò ne risulta un ritiramento che ne cagiona la rottura. Che se poi i vasi avessero una eguale spessezza dappertutto, dirigendo il calorico sopra un sol punto, per la poca conducibilità della loro sostanza, la dilatazione sarebbe limitata a poca distanza da questo punto, e ne succederebbe un ritiramento tale da cagionarne parimenti la rottura.

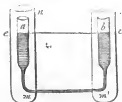
Dilatazione de' liquidi.

191. I liquidi si dilatano come i solidi, cioè quasi prossimamente nella ragione inversa della loro densità; e perciò comunque questa dilatazione fosse anche debole, nondimeno è sempre maggiore de'solidi, ed aumenta a misura che la temperatura più si avvicina al grado del loro bollimento. Ma essendo i liquidi cattivi conduttori del calorico, i fenomeni della loro dilatazione, ovvero quelli della loro contrazione, presentano difficoltà grandissime quando vogliansi esattamente determinarli; dappoichè riscaldando, ovvero raffreddando una massa liquida, si suscitano sempre moti vorticosi complicatissimi nell'interno delle loro

(1) Si fu dietro queste ragioni che Molard, direttore del Museo di Arti e Mestieri, fece di questa forza una felicissima applicazione. Essendosi in questo stabilimento inclinate due muraglie di una gran sala, per effetto del gran peso che vi era nella sua volta, pensò, per metterle nella primitiva posizione, di far traversare le pareti di quelle muraglie da barre di ferro fissate al di fuora solidamente, come suol farsi d' ordinario negli edifizii ove si tema che possano crollare, ed impedir così un maggiore allontanamento di quelle pareti della sala. Si riscaldarono dopo le barre per mezzo di lampade sospesevi al di sotto. Allungatesi in siffatto modo le barre calde, poterono fermarsi più dappresso fuora le due muraglie, spingendo più in giù i perni coniei che le tenevano prima strettamente aggiustate su la parete esterna, e con ciò nel raffreddarsi, avvenutane la contrazione, si videro quelle muraglie ricondotte alla primitiva posizione, dopo aver più volte ripetuta quella operazione, cioè di dilatazione e contrazione, allo stesso modo di prima.

molecole, dovendo il calore dilatare e far più leggere quelle che sono in contatto con la sorgente calorifica, e queste sollevandosi cagionano su le molecole fredde moti discendenti. Il contrario succede pel raffreddamento, perchè fattesi le molecole più dense, si avvicinano o scendono prossimamente al punto ove è applicato il corpo freddo, e ne succede il moto delle molecole soprapposte che sono più dilatate o meno dense. Nella difficoltà dunque di operare su i liquidi, Dulong e Petit si avvisarono dedurre la loro dilatazione da un principio idrostatico, ed è, che quando due colonne liquide verticali sono poste in comunicazione con un condotto orizzontale, le altezze delle prime sono in ragione inversa delle loro densità particolari. Or se circondasi di neve una delle colonne dello stesso liquido, per mantenerla in una temperatura costante, e si porta l'altra successivamente a diverse temperature, potrà facilmente misurarsi le altezze reciproche, e trovar la dilatazione assoluta del liquido sottoposto allo sperimento, servendosi di un calcolo semplicissimo. Così supponghiamo che h ed h' dinotino le altezze delle due colonne liquide, alle temperature t e t', e d d' segnino le densità corrispondenti, si avrà che $h : h' :: d' : d$.

192. L'apparecchio da essi adoperato è quello che vedesi qui accanto. Il sifone *a b*, *m m'* trovasi aggiustato ne'due recipienti *e e'* che servono per raffreddare e riscaldare le due colonne liquide *am*, *bm'*, mettendo in una la neve e nell'altra il liquido caldo di cui si determina la sua temperatura. La linea *e e'* ne segna le altezze primitive, da cui può dopo segnarsi quella che deriva dalla dilatazione, durante il tempo che l'altra colonna si mantiene a zero. In questo frattempo, malgrado che il peso delle due colonne si conservi lo stesso, nondimeno quella riscaldata si farà più alta dell'altra in cui è la neve. L'eccedente dunque di altezza servirà di guida per conoscere la dilatazione del liquido alla temperatura cui si è riscaldato; e perciò tutto si riduce a conoscer le temperature ed a misurar le altezze delle due colonne.



Per evitare gli errori che potrebbero derivare dalla capillarità le due canne verticali del sifone debbono essere abbastanza larghe, e quella che le unisce in *m m'* deve essere capillare, affinchè la sola gravità stabilisca la comunicazione del liquido con le due altre braccia del sifone. In siffatto modo Dulong e Petit pervennero a determinare la dilazione apparente del mercurio. L'altezza della colonna a zero essendo 55, e quella dell'altra colonna + 100° elevatasi a 66, ne dedussero, che il mercurio si dilatava di $\frac{1}{55}$ quando riscaldavasi da zero o° + 100°. Tenendo

essi in conto la dilatazione cubica dell'inviluppo di vetro in cui era il mercurio, che si è detto essere da 0° a 100° di 0,00015434, gli fu facile dedurne la dilatazione assoluta del mercurio, la quale fu trovata esattamente.

da 0° a 100°. . . .	0,00018018 ovvero di	$\frac{1}{55,5}$
— 0° a 200	0,00018433	$\frac{1}{54,25}$
— 0° a 300	0,00018858	$\frac{1}{53}$

193. Conosciuta così la dilatazione assoluta del mercurio e quella del vetro, riesce facile determinar la dilatazione cubica degli altri corpi. Così suppongasi che voglia trovarsi quella del ferro; s' introduce un piccolo cilindro di questo metallo in un cannello di vetro, il quale tirato alla lampada per la estremità aperta si riempie di mercurio come si fa pe' termometri, discacciandone tutta l' aria facendovi bollire il mercurio, e dopo si lascia raffreddare a zero, tenendolo tutto immerso nella neve. Si espone dopo, come nelle altre sperienze citate, successivamente a differenti temperature, pesando esattamente il mercurio che ne esce fuora per effetto della sua dilatazione e quella del cilindro di ferro. La dilatazione di quest'ultimo, per le differenti temperature a cui si è esposto, è data dal volume del mercurio uscito, il quale è eguale alla somma della dilatazione de' due metalli, diminuita della dilatazione cubica del vetro. Per farne dunque il calcolo, deve solo sapersi il volume di ciascuno de' corpi, il che si ottiene dividendo i loro pesi per le loro densità a zero. La capacità del cannello di vetro è eguale alla somma de'volumi del corpo e del mercurio. Ove poi il metallo o altro corpo potesse alterarsi per l'azione del mercurio, si covre prima con uno strato sottile di vernice.

194. Quanto alla dilatazione del vetro, trovata quella del mercurio, o di altro liquido, riesce facile poterla determinare col mezzo dell' apparecchio qui allogato. E perciò basta riempir di mercurio o di ogni altro liquido alla temperatura di zero il cannello v pieno di aria ben secca, la cui capacità siasi prima conosciuta, e riscaldarlo dopo ad un determinato grado di calore, tenendolo immerso nel liquido così riscaldato,



come vedesi nella figura; misurandone dopo il mercurio che esce per la estremità capillare n'. Or comunque la quantità di liquido uscito fosse assai piccola, fa nondimeno, dopo averlo portato nuovamente a zero, conoscer quale dovrebb'essere se il

vetro non fosse aumentato di capacità, e perciò la differenza dà precisamente la dilatazione cubica del vetro.

Nella stessa figura vedesi ancora il cannello a simile a quello posto orizzontalmente nella scatola, e può questo bastare anche a trovare in modo più semplice la dilatazione apparente del liquido, da cui si avrà la dilatazione assoluta, dopo trovata quella del vetro. Così pieno il cannello a del liquido preso alla temperatura di zero, se ne determina esattamente il peso: la sua densità ne dà il volume. Si mette dopo in una provetta piena del liquido caldo come nell'antecedente sperienza, ad una temperatura determinata, e la quantità del liquido che n' esce dalla estremità n darà la sua dilatazione apparente; il peso di questo liquido e la densità conosciuta danno immediatamente il suo volume a zero, e con ciò è facile aver la dilatazione assoluta del liquido quando si sarà trovata quella del vetro in cui era chiuso (1).

Dilatazione o espansione de' fluidi aeriformi.

195. Le cognizioni su la dilatazione de'fluidi aeriformi hanno molta attenenza con le ricerche fisico chimiche, che sovente fa duopo in molti casi tenere in conto. La legge che essi sieguono nel dilatarsi, scoverta contemporaneamente da Gay-Lussac a Parigi (2) e da Dalton a Manchester (3) è assai semplice, perchè i gas tutti sottoposti alle medesime condizioni di riscaldamento si dilatano egualmente, ed il coefficiente della loro dilatazione 0,00375, stabilito da Gay-Lussac, differisce appena da quello avuto dal fisico inglese, che è di 0,00372, e per l' aumento di ciascun grado del termometro centigrado, di 000375 del loro volume a zero; e perciò si ritenne esser la dilatazione de' gas esattamente proporzionale all'elevazione di temperatura.

Gay-Lussac si valse di una canna di vetro chiusa da un estremo, ed esattamente graduata in parti eguali nella sua lunghezza. Piena questa di mercurio, e fattovi bollire, come si opera pe' barometri, per discacciarne tutta l'aria, vi si fece passare il gas attraverso il mercurio sino ad occupare la metà dell' altezza della canna. Portato dipoi l' apparecchio sotto una stufa, la cui

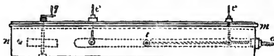
(1) Designando per P il peso del liquido chiuso nel cannello di vetro a zero, per p il peso del liquido uscito alla temperatura t, per h la dilazione della sostanza del cannello per 1°, per δ quella del liquido per $t°$, e per d la densità del liquido a 0°, si avrà

$$\frac{P}{d}(1+\delta)=\frac{P}{d}(1+ht)+\frac{P}{d}(1+\delta),\ \text{donde}\ \delta=\frac{Pht+p}{P-p}$$

(2) Ann. de Chim. XLII, 125.
(3) Manchester, Mem. V. 593.

temperatura era data dal termometro, notata prima la temperatura del gas, e la pressione dell'aria, si potè, dall'abbassamento della colonna del mercurio, trovar l'aumento di volume del gas per effetto della dilatazione dopo avvenuta. Ripetendo Gay-Lussac allo stesso modo lo sperimento con differenti gas, or con la medesima canna graduata, or con due eguali, e contemporaneamente, ebbe sempre la stessa dilatazione in tutti, quando erano esposti alla medesima temperatura e pressione atmosferica.

196. Stando così la legge stabilita da' due fisici, venne questa generalmente adottata. Ma dopo le ricerche fatte da Dulong e Petit su la dilatazione dell'aria ne' termometri, e trovato che nel paragonar questi con quelli a mercurio, le dilatazioni corrispondenti erano uniformi solo da 0° sino a 100°, intrapresero altre ricerche su la dilatazione de' fluidi aeriformi. Essi adope-



rarono l'apparecchio qui segnato, il quale poco differisce da quello descritto al § 194 per trovar la dilatazione de' liquidi. Una canna che si termina nella estremità *o* assai capillare è situata orizzontalmente in una scatola metallica *n m'* in modo che trovasi per la sola estremità capillare fuora della scatola. Il termometro *t* è posto orizzontalmente accanto la stessa canna, e serve per segnar la temperatura esatta del liquido caldo che circonda la canna; i due termometri *t' t''* dinotano la temperatura approssimativa di tutta la massa liquida, la quale si tiene continuamente in agitazione durante lo sperimento, col mezzo del ventilatore *g*. Introdotto il gas perfettamente privo di vapore acquoso, lo che si ottiene facendolo passare per un cannello pieno di cloruro di calcio, e lasciatovi nella canna tanto mercurio da occupar lo spazio da *t* sino *o*, quando la temperatura della canna erasi portata a zero, innalzandola dopo col mezzo del liquido caldo che si versa nella scatola, sino al punto che si vuole, quando per effetto della dilatazione del gas non esce più mercurio dalla estremità capilare *o*, si chiude subito questa col mezzo della fiamma direttavi col cannello ordinario, notando esattamente la temperatura a cui la dilatazione del gas erasi fatta stazionaria. Ritirata dopo la canna dall'apparecchio, e raffreddatala a zero, cioè alla temperatura di prima, s'immerge la sua estremità capillare *o* nel mercurio, e si rompe nella parte chiusa. Egli è naturale che pel volume del mercurio uscito per l'opera della dilatazione del gas, deve rientrarne altrettanto nella canna, e perciò basta notare il volume che ne entra, a quella tem-

peratura a cui aveva avuto cominciamento l'esperienza, perchè si avrà il volume dell'aria discacciata, ed in conseguenza la sua dilatazione relativa, perchè l'assoluta viene dedotta sottraendone quella del vetro, come si è detto più innanzi al §. 192. Or trovata la capacità totale della canna riempendola prima di mercurio, misurandone dopo il volume di questo liquido entrato, riesce facile trovar quello che il gas adoperato occupava a zero, e l'altro aumentato per la temperatura a cui erasi riscaldato. Operando in siffatto modo con più gas posti nello stesso apparecchio, si vedrà che tutti si dilatano o si costipano seguendo la medesima legge.

Ripetendo le stesse sperienze altri fisici con maggiore accuratezza, ebbero qualche differenza ne' risultamenti citati, quanto al coefficiente di dilatazione ottenuto da Gay-Lussac, e da Dulong e Petit. Pouillet variando la disposizione degli apparecchi, dopo una serie di esperienze, concordanti sempre fra loro, credè potere stabilire il coefficiente dell'aria a 0,00368, invece di 0,00375 ottenuto da Gay-Lussac; ma siccome Regnault otteneva nello stesso mentre 0,00367, lo stesso Pouillet credè doversi adottar quest'ultimo numero come più esatto. E Rudeberg partendo dalle ricerche fatte daDulong e Petit sul cammino comparativo del term. ad aria e quello a mercurio, aveva dedotto che il coefficiente di dilatazione dell'aria doveva essere ridotto a 0,00365, ch'era la media di diverse serie di sperienze fatte con ogni accuratezza, usando il metodo adoperato da Dulong e Petit. Qualche tempo dopo Magnus, in un lavoro letto all'Accademia di Berlino, conchiuse doversi ritenere il numero, 0,0036678 pel coefficiente di dilatazione dell'aria, avendo egli trovato in quello dell'idrogeno, del gas acido carbonico e del gas solforoso differenze appena sensibili da quelle avute da Regnault nel paragonare la dilatazione di differenti gas a pressione costante, da 0°, a 100°, le quali sono come appresso.

Idrogeno.	0,366
Aria atmosferica	0,367
Ossido di carbonio. . . .	0,367
Acido carbonico	0,371
Protossidò di Azoto. . . .	0,372
Cianogeno	0,388
Acido solforoso.	0,390 (1)

Da' risultamenti ottenuti da Regnault con diversi processi, ha potuto dedursi, che le dilatazioni ne' gas aumentano con le pressioni, ma assai inegualmente pe' differenti gas, cosicchè non gli è venuto fatto di stabilirne una legge generale. Alla pressione di 3 atmosfere ed $\frac{1}{3}$ la dilatazione dell'idrogeno conserva lo stesso valore 0,366; quella dell'aria passa da 0,367

(1) *Ann. de Phys et de chim.*, t. 5 p. 80.

a 0,369, e quella dell'acido carbonico da 0,371 a 0,385. La dilatazione poi dell' acido solforoso aumenta in un ordine differente, perche sotto la pressione di 960 millimetri solamente, essa passa da 0,390 a 0,398.

Questi ultimi risultamenti sono abbastanza rilevanti per provare con quanta riserbatezza debba ritenersi una legge generale che a prima vista sembrava così semplice per tutt' i fluidi aeriformi. Egli è vero che tanto i gas permanenti, che i vapori hanno lo stesso coefficiente di dilatazione, e che questo sia indipendente dalla particolare densità loro; ma siffatta legge debbe risguardarsi come approssimativa, o come una specie di limite, verso il quale tendono le dilatazioni de'fluidi aeriformi, e non già come una legge rigorosamente matematica.

197. La legge della dilatazione de'fluidi aeriformi sovente viene applicata nelle ricerche fisicochimiche quando vuol sapersi la densità loro (V. dal § 349 al § 354 al Vol. 1° di quest'opera), e che fa duopo portare un volume di un gas ad una temperatura differente di quella in cui si osserva o che si trovi. Ne daremo i problemi più generali che possono presentarsi per disvolgerli.

1° *Un gas la cui temperatura fosse zero, quale sarà il suo volume se la temperatura si facesse maggiore?* Il volume cercato sì avrà moltiplicando il volume che il gas occupa a zero pel coefficiente di dilatazione de' gas, che si è detto essere 0,00366, moltiplicato pel numero de' gradi che sono sopra lo zero (1).

2° *Ricondurre a zero il volume di un gas determinato ad una temperatura superiore a zero.* Il volume conosciuto si compone sempre del volume a zero e di quello che acquista per la dilatazione dopo lo zero ; se il volume a zero è 1, il volume conosciuto sarà 1 + il coefficiente di dilatazione de' gas, 0,00366 moltiplicato pel numero di gradi sopra zero, e perciò basta stabilire semplicemente una proporzione (2).

Applicazione della dilatazione e contrazione de' corpi alla formazione degli strumenti che servono alla misura delle temperature.

De' termometri.

198. Le conoscenze su la dilatazione e contrazione de' corpi

(1) Sia V il volume a zero; x il volume cercato; t la temperatura al volume cercato, si ha la formola seguente:

$$x = V + (t \times 0{,}00375 \times V)$$

(2) Sia V il volume a zero; V' il volume conosciuto; t la temperatura. La formola di riduzione è:

$$\frac{V = V'}{1 + 0{,}00375 \times t}$$

per effetto di variazione di riscaldamento e di raffreddamento, si sono da' fisici applicate per comporre gli strumenti che si chiamano *termometri* se sono fatti con liquidi, e *pirometri* se risultano da sostanze solide. Si sono poi detti *termoscopii*, o *termometri ad aria* que'che hanno l'aria invece de'liquidi. Tutti questi strumenti servono per determinare le differenti quantità di calorico sensibile che posseggono o a cui possono portarsi i corpi, e paragonarle quando ne facesse duopo fra esse.

Si è da alcuni attribuita la scoperta del termometro a Bacone, a Fludd, a Cornelio Drebbel olandese, a Sanctorius, ed a Sarpi. Ma dopo quanto ci fa ora apprender Libri, nella sua *Storia delle scienze matematiche in Italia*, (1) sembra che Galilei abbia fatto conoscere il primo termometro fin dal 1597; dappoichè discutendo le date alle quali si rapporta la scoperta di ciascuno de' precedenti autori, si troverà che queste sono tutte posteriori al 1597.

199. *Termometro di Drebbel.* Si crede che in origine fosse fatto su la dilatazione dell'aria. Un cannello di piccol diametro che aveva soffiata nell'estremità una piccola bolla, era per l'altra immerso in un mescuglio di acqua ed acido nitrico, posto in una boccia di vetro. Riscaldando la bolla con la mano, ne usciva un poco di aria per la estremità immersa nel liquido acido, e ritiratala dopo, si vedeva questo alzarsi nel cannello e restarsi fermo ad una data altezza. Questa colonna liquida era sensibile a' più piccoli mutamenti di temperatura; il caldo la faceva più corta ed il freddo più lunga. In questo strumento Drebbel vi appose anche una scala, ma fatta senza alcun principio determinato. Il *termometro di Sanctorius*, che alcuni descrivono simile a quello di Drebbel, altri, come vedremo più innanzi, era fatto su lo stesso principio, cioè su la dilatazione dell'aria, e per liquido si crede che abbia adoperato lo spirito di vino colorato.

Il primo miglioramento a questo strumento fu fatto verso la metà del XVII secolo nell'Accademia del Cimento a Firenze, e lo spirito di vino colorato venne surrogato all'aria, a fin d'impedire l'opera della pressione atmosferica su le indicazioni delle temperature, e se gli diede la forma che ancora ritiene il *termometro a spirito*. La scala apposta nello strumento non era fatta con

(1) Trovasi nell'opera citata sul proposito il seguente passaggio « Il termometro di Galilei si componeva di un cannello di vetro di piccol diametro, aperto ad una delle sue estremità, e terminato nell' altra da una sfera vuota. Dopo avervi introdotto poc'acqua si teneva la estremità aperta in una posizione verticale: la pressione dell'aria riteneva il liquido nel cannello, ed il termometro era fatto » (*Galilei*, Op. tom. I p. LXVII; *Nelli vita*, t. I, p. 69 e 72).

Galilei fece conoscere al P. Castelli gli effetti di questo strumento nel 1603, e Sagredo, amico di Galilei, se ne valse nel 1613 a Venezia per farne le osservazioni meteorologiche (*Nelli, vita* I, p. 69).

un principio esatto, dappoichè lo zero segnavasi al punto in cui fermavasi la colonna liquida alla temperatura di una cantina, la quale come è noto, non è costante in tutt'i luoghi; lo spazio poi al di sopra e al di sotto di questo punto, dividevasi in 100 parti eguali. Siffatta graduazione essendo puramente arbitraria, ne seguiva che i termometri non riuscivano paragonabili.

200. Sino a quest'epoca i fisici ebbero uno strumento imperfetto, ma inseguito si cercò in varie guise trovare i termini che potessero dividere i gradi nello strumento in modo da essere in accordo con le temperature osservate. Bayle prese per termine la temperatura della liquefazione dell'olio di anisi. Newton nel 1701 sostituì allo spirito l'olio di lino, perchè questo potesse segnare temperature più alte, ed i limiti della sua scala erano presi col ghiaccio e col calore del sangue nel corpo umano: la distanza che li separava era divisa in 12 parti eguali. (1) Halley, e poi Amontons a Parigi ebbero la prima idea di servirsi dell'ebollizione dell'acqua per termine inviariabile di temperatura; ma prima di lui Renaldini professore nella Università di Bologna, sul cadere del XVII secolo propose il mezzo che ora si ripete per fissare i due estremi invariabili nella scala dello strumento. Uno era quello in cui il liquido fermavasi nel ghiaccio fondente, e l'altro nell'acqua bollente; e facendo differenti mescugli di quest'ultima e di acqua di neve subito fusa, pervenne a formare una scala più esatta, e ad ottenere termometri meglio paragonabili de'precedenti. Ma i primi termometri furono così fatti nel 1714 da Daniele Gabriele Fahrenheit, fabbricante di strumenti a Danzica, il quale teneva celato il suo metodo. I suoi termometri erano anche a spirito, ma dopo che Reomer ebbe adoperato il mercurio, Fahrenheit nè fece ancora con quest'altro liquido. La scala era la stessa di quella di quest'ultimo, e lo zero era preso immergendo il bulbo del termometro in un mescuglio di sale ammoniaco e neve. Si seppe dipoi che Fahrenheit avendo conosciuto dalle sue sperienze che 11124 parti in volume di mercurio, prese dalla temperatura del suo zero a quella dell'acqua in ebollimento, dilatavansi sino ad occupare uno spazio di 11336, lo che dava un'aumento di 112 parti da zero a questa temperatura, pensò divider la distanza tra i due limiti in 212 parti eguali; cosicchè in tal veduta, il punto della congelazione dell'acqua corrispondeva a gradi 32°, e quello del sangue, trovato da Newton, a 96°. La scala dunque della più parte de' termometri fatti in origine da Fahrenheit, non oltrepassava il grado 96, ma dipoi, adottatosi questo stru-

(1) Troviamo dello in alcuni Trattati di fisica, che Newton abbia pel primo trovato i due limiti della scala termometrica, cioè lo zero preso nel ghiaccio fondente, e quello ottenuto immergendo lo strumento nell'acqua bollente; ma la pluralità degli altri fisici sostengono il contrario, e quanto si è esposto.

mento in Inghilterra, si pensò farlo col mercurio, e lo zero si ebbe immergendone il bulbo nel mescuglio di neve e sale ammoniaco. Il grado 32° corrisponde allo zero segnato nel termometro a scala centigrada, preso durante la fusione della neve, ed il grado 212 a quello dell'ebollimento dell'acqua. E considerando che lo zero degli altri termometri corrisponde a gradi 32° di quello di Fahrenheit, allora da questo punto a quello dell' ebollizione dell' acqua, vi sono in quest'ultimo strumento 180° gradi ; cosicchè in essenza la scala Fahrenheit, paragonata alla centigrada, conterrebbe 180° gradi invece di 100°.

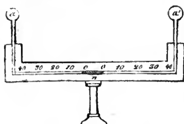
201. Presso a poco nello stesso tempo Reaumur nel 1730 faceva conoscere a Parigi il suo termometro a spirito colorato. Egli riteneva ancora i due limiti adottati, cioè fusione della neve ed ebollimento dell'acqua, ma la distanza era divisa in 80 parti eguali. Lo spirito era colorato in rosso, e diluito con acqua affinchè avesse segnato le temperature superiori a quelle a cui bolle l'alcool; e la sua graduazione era tale, che ciascun grado della scala segnava $\frac{80}{1000}$ di dilatazione del liquido preso al grado della fusione della neve. Si pensò in seguito da Deluc costruir termometri a mercurio con la scala di Reaumur, e ben presto si vidde che i due strumenti non erano paragonabili, perchè i due liquidi esposti alle medesime temperature, quando queste più si alzano si dilatano differentemente, come vedremo in seguito.

202. Delisle propose divider la distanza del punto della congelazione dell'acqua sino al suo ebollimento in 10,000 gradi. La scala proposta dal Ginevrino Ducrest, aveva gl' inconvenienti di quella degli Accademici del Cimento, perchè lo zero era preso alla temperatura di una cantina dell' osservatorio di Parigi, ed il grado 100 a quella dell'acqua in ebollimento.

Stando in questa disparità i fisici sul modo di fissare i due limiti della scala nello strumento, dopo essersi stabilito il sistema decimale in Francia, si è ritenuto la scala adottata da Celsius, professore ad Upsal, sin dal 1741. Egli aveva fissato i due limiti servendosi di due temperature determinate, nulla curando la dilatazione del liquido. E perciò lo zero veniva segnato al punto ove il mercurio fermavasi nella fusione della neve, ed il grado 100° in quello dell'acqua in ebollimento. E quantunque nello stesso tempo a Lione, Cristin facesse lo stesso con metodo differente, tenendo cioè conto del volume del mercurio, che trovò essere da 0° a 100° come 66 : 67, il che dava per ciascun grado $\frac{1}{6600}$ del volume del mercurio a zero, la scala di Celsius venne di preferenza adottata, ed è ora generalmente ritenuta in Francia, in Isvezia, ed in altre contrade.

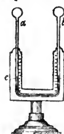
Termometri ad aria.

203. Siccome in parità di temperature più alte o più basse, i fluidi aeriformi acquistano maggiore o minor volume de' liquidi, per segnare le quantità di calorico appena sensibili, Rumford e Leslie fecero degli strumenti ad aria diversi da quelli conosciuti.



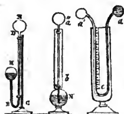
Lo strumento del conte Rumford, che disse *termoscopio*, è rappresentato nella figura di lato. La piccola colonna *n* di liquido colorato cammina a sinistra o a destra, secondo che dilatasi o restringesi il volume dell' aria contenuta in una delle due palline *a a'*, e segna così i gradi nello strumento.

204. Leslie su gli stessi principii fece altro strumento presso a poco simile, e lo disse *termometro differenziale*. In origine esso



fu fatto come vedesi nella figura, e differiva da quello di Rumford solo perchè invece della piccola colonna liquida di spirito colorato, ne aveva una più lunga di acido solforico tinto con carminio, ma ora si fanno a spirito colorato. Il movimento della colonna liquida facevasi con più lentezza, ma più uniformemente, ed occupando essa lo spazio segnato nella scala *c d*, le differenze nella temperatura venivano date dall'alzarsi o dall' abbassarsi la stessa colonna liquida a destra o a sinistra.

205. Questi termometri ad aria si sono dopo anche differentemente modificati. Nella fig. di lato vedesi il termometro di Leslie modificato in due modi



diversi. Nel primo il liquido colorato occupa la metà della piccola bolla M, e corre in tutta la curvatura del cannello, prolungandosi la colonna prossimamente sino in D, poco al di sotto della bolla N. Il terzo tiene le due bolle in alto ad eguale altezza, ed il liquido colorato riempie quasi tutta la bolla *a*, restando l'altra *a'* piena di aria. La scala apposta accanto il cannello dal lato *c* ne segne i gradi.

Lo strumento di mezzo è il termometro ad aria attribuito a Drebbel o a Sanctorius. Il liquido colorato stà nella piccola

boccla sino in N, ove vedesi immersa l'estremità aperta del cannello che porta in alto la bolla a'' piena di aria: la scala b fa conoscere le differenze di temperatura.

Per graduare il termometro differenziale, si riscalda una delle sfere circondandola di un liquido la cui temperatura sorpassa di 10 gradi quella dell'aria ambiente che conserva l'altra sfera, segnando il punto in cui si abbassa la colonna liquida: l'intervallo fra il primo ed il secondo punto diviso in parti eguali, darà i gradi del termometro differenziale, i quali possono paragonarsi con que'del termometro a mercurio che ha servito a stabilirli.

206. Può costruirsi un termometro ad aria assai semplice servendosi di un termometro come quelli a mercurio, introducendovi solo una piccola porzione di alcool colorato, come vedesi nella figura in *n*. La estremità essendo aperta e la piccola sfera *a* piena di aria, l'effetto avrà luogo come nel termoscopio di Rumford descritto. L'altro termometro accanto è pieno di mercurio ed ha l'anello fatto con filo metallico n' il quale serve per segnar la dilatazione del mercurio o il suo ristringimento. La colonna finisce in *e*, e dinota il punto in cui si è fermata sotto l'anello n' in un abbassamento di temperatura ec.



Tanto in quest'ultimo termometro che in quei che hanno accanto la scala corrispondente, volendo destinarli ad alcune ricerche fisiche, suol covrirsene la sfera con foglia di oro per diminuire quanto è possibile il raggiamento interno del calorico, e la deposizione del vapore acquoso che puo contener l'aria che lo circonda, quante volte voglionsi tenere esposti all'aria per un dato tempo.

207. Leslie ha adoperato lo strumento che qui vedi per provare il raffreddamento de'corpi che raggiano calorico nello spazio. Il suo termometro differenziale *a a' b* ha la sfera *a'* coverta di una sottil foglia di oro, e l'altra *a* trovasi fissata nel foco di un riflessore metallico. Questo strumento posto all'aria libra, lontano dall'azione diretta de'raggi solari durante un tempo sereno, dinoterà in ciascun istante, sia di notte che di giorno, l'abbassamento di temperatura che proviene dal raggiamento verso lo spazio.



Con esso osservò Leslie, che gli effetti erano al *minimum* quando il cielo appariva azzurro, e diminuivano a misura che l'atmosfera covrivasi di nebbia, tornando al minimum quando la nebbia più si avvicinava alla terra. Queste impressioni frigorifiche sono più sensibili durante il giorno che la notte, più nell'està che

nell' inverno ; esse cessano quando covresi lo specchio con un diaframma opaco, ma poco dopo si ristabiliscono in parte quando il diaframma si è raffreddato pel suo raggiamento diretto. Inclinando lo strumento gli effetti sono gli stessi, e sempre ciascuna porzione di cielo che trovasi sotto lo stesso angolo produce il medesimo raffreddamento.

Termometri a liquidi.

208. I termometri a liquidi sono i più in uso. Si potrebbe adoperare un liquido qualunque, ma il mercurio e lo spirito di vino sono i più generalmente usati. Il primo poi ha ritenuta la preferenza sopra gli altri; 1° perchè non aderisce su le pareti interne dello strumento; 2° chè esso può sostenere, prima che bolla, una più alta temperatura di tutti gli altri liquidi; 3° chè essendo meglio conduttore di questi, raggiunge più prontamente l'equilibrio di temperatura in tutta la massa; 4° perchè le irregolarità che patisce nel dilatarsi, sono sensibilmente compensate fra la temperatura del ghiaccio fondente e l'acqua in ebollimento, dalle variazioni corrispondenti a cui va contemporaneamente soggetto il vetro.

I termometri più in uso sono quelli di Reaumur a spirito, di Deluc a mercurio con la scala divisa in 80 gradi, il termometro centigrado, e quello di Fahrenheit. L' oggetto di questi strumenti è lo stesso, cioè tutti sono adoperati per la misura delle temperature. I termometri a spirito servono per le temperature bassissime, perchè non si è potuto ancora congelar l' alcool, e quelli a mercurio per le temperature più alte. In generale poi, tutti debbono adoperarsi a determinar quelle temperature inferiori a cui bollono o si fanno solidi i liquidi con cui sono formati.

Costruzione de' termometri.

209. Dopo le leggi della dilatazione de'solidi, liquidi e fluidi aeriformi, può conoscersi le difficoltà che presenta la costruzione de' termometri. I differenti corpi che possono adoperarsi, non si dilatano tutti della medesima quantità per uno stesso innalzamento di temperatura, ed in conseguenza, i differenti termometri che ne derivano, non posson dare i medesimi risultamenti se non quando vengano prima rigorosamente calcolati i rapporti delle rispettive loro dilatazioni, dietro i quali le divisioni nelle scale debbono convenevolmente disporsi. Ancora, ne'solidi e ne' liquidi il cammino progressivo della loro dilatazione non essendo uniforme, farebbe duopo conoscere rigorosamente la legge per dividerne le scale. Ed in ultimo, tanto i liquidi che i fluidi aeriformi, dovendo essere assolutamente chiusi in opportuni serbatoi, i risultamenti che derivano dalla loro

dilatazione o ristringimento debbono farsi complicatissimi. Fra questi strumenti, quello che dapprima sembra presentare meno difficoltà, o più facile a corriggerne gli errori, è il termometro ad aria, perchè si è detto che i fluidi aeriformi si dilatano egualmente, e perciò sembrerebbe bastare il conoscer la legge delle dilatazioni dell'inviluppo perchè le calcolazioni risultassero esatte il più possibile; ma più innanzi conosceremo un altra cagione di errore, quella cioè che tiene alle *capacità calorifiche*, perchè queste variano ne' differenti corpi.

210. Per costruire un termometro a liquido, fa duopo primamente scegliere un cannello capillare, il cui diametro interno sia lo stesso in tutta la sua lunghezza e perfettamente cilindrico; ma siccome si è conosciuto che essi sono altrettanto più sensibili, quanto più stretta è la capillarità del cannello, si è pensato usar quelli il cui diametro interno non sia cilindrico ma schiacciato, affinchè la colonna liquida sia assai più visibile dalla parte più larga, come lo sono in generale tutti i termometri che si costruiscono in Inghilterra (1).

Il serbatoio che contiene una data massa di mercurio si fa ora sferico, ora cilindro, o a spirale, affinchè presenti maggiore superficie. Il primo si ha facendo fonderne la estremità al cannello a corrente di aria, soffiandovi subito dopo una piccola sfera. Pe' secondi vi si salda un cilindro di vetro, e dopo si chiude, e per gli ultimi questo cilindro si adopera di un diametro più piccolo, ma assai più lungo, affinchè possa voltarsi in una spirale piana fatta con 4 a 6 giri. Alcuni costruttori di siffatti strumenti v'introducono il mercurio curvandone la estremità ad uncino che si fa comunicare nel piccolo vaso *n* quasi pieno del liquido, come vedesi in *c*; altri vi saldano il cilindro *a* assai largo ed aperto in cui mettono il liquido. Nell'uno e nell'altro modo si riempie la palla o il cilindro di mercurio sempre riscaldandola appena con una lampada ad alcool, affinchè nel dilatarsi l'aria possa uscirne una porzione attraverso il liquido, e raffreddata, nel tornare al volume primitivo, faccia scender giù in *a'* o in *e'* un volume di liquido eguale a quello dell'aria uscita. Allora si riscalda il liquido sin che bolla, e si sostiene così per qualche istante il calore, allontanandone subito dopo la lampada. In questo mentre, fattosi un vuoto quasi perfetto in tutta la capacità del cannello, si vedrà scender celeremente il mercurio per riempirla. Ma per im-



(1) La impossibilità di raggiunger siffatto scopo, ha suggerito a' fisici più

pedir che lo strumento non si rompa, deve il mercurio però esser privo di umidità, ed assai caldo, perchè scendendo freddo nella parte troppo riscaldata, la rottura sarebbe quasi certa. Si reiteri allo stesso modo più volte il bollimento del liquido per cacciarne le ultime porzioni di aria e di umidità che potevano restarvi, e dopo raffreddato si tira alla lampada la estremità di quello che aveva il cilindro aperto, facendola arroventare nel punto ove questo eravi saldato. Si riscalda dopo il cilindro o la palla sino a cacciar fuora tanto mercurio che si vuole, ed immantinenti vi si dirige la fiamma per chiuderne la estremità capillare nel momento che il mercurio prosegue ad uscire a goccioline. Si fa dopo raffreddare il mercurio, e si troverà la capacità non occupata da esso del tutto priva di aria, il che si conosce, se ciò sia realmente, osservando se capovolgendo lo strumento, il mercurio cade celeramente in giù, il che allora dicesi che *fa martello*, pel suono che produce urtando contro le pareti del cannello.

211. Costrutto in tal modo il termometro, per conoscer le differenti temperature, si fissa accanto al cannello una scala esattamente graduata, per la quale fa duopo trovar prima due punti fissi che fossero dati da due temperature invariabili, e questi si hanno con la fusione della neve e con l'acqua in bollimento. Il primo, che segna lo zero della scala, si ha immergendo a più riprese lo strumento in tutta la sua lunghezza nella neve fondente, e quando vedesi la colonna liquida fermarsi sempre allo stesso punto, segnasi ivi lo zero. Si porta dipoi in mezzo al vapore dell'acqua bollente, tenendolo prossimamente in contatto con questo liquido, e quando vedesi la lunghezza della colonna del mercurio farsi stazionaria, si segna ivi l'altro punto che dinota la temperatura che ha l'acqua quando bolle. Dividendo in 80 gradi la distanza che vi è fra questi due limiti, si avrà il *termometro di Deluc*, impropriamente detto di Reaumur, perchè questo lo fece con lo spirito di vino colorato; in 100, il *termo-*

procedimenti a fin di pervenirvi. Gay Lussac pel primo si avvisò adoperare il metodo seguente: Per dividere la lunghezza del diametro interno in parti eguali, vi s'introduce prima qualche goccia di mercurio, segnando esattamente le due estremità; si fa dopo passare innanzi, in modo che una estremita coincida con l'altra precedente, segnando dopo la sua estremità opposta e così di seguito. Con tal mezzo si ha una prima scala in parti eguali. Si ritira dopo poco meno della metà di mercurio, e si fa correr la piccola colonna liquida fra due divisioni, facendo coinciderla prima con una di essa, e dipoi con l'altra, segnandone ogni volta le estremità rispettive. In siffatto modo si avranno due segni che sono egualmente lontani nella prima grande divisione, e perciò l'intervallo de' due segni posteriori essendo assai piccolo, può considerarsene la capacità corrispondente come cilindrica, il perchè prendendone la metà potrà dividersi il primo spazio in due altri della stessa capacità, e così di seguito per gli altri intervalli. Così saggiati i cannelli, dividendo la colonna liquida in parti eguali, si avrà la stessa capacità nella divisione che dovrà farsene.

metro di Celsio, o *centigrado*, ed in 180 quello di *Fahrenheit*, cominciando lo zero di quest'ultimo dal grado 32, e perciò la scala di Fahrenheit ha 212 gradi. I gradi poi che sono sotto lo zero si dicono *negativi* o *di freddo*, e si fan precedere dal segno — (meno), e quelli sopra lo zero si chiamano *positivi* o *di caldo*, e si dinotano col segno + (più); ma siffatte distinzioni vengono ommesse da' matematici e da' meteorologi, per evitar la complicazione de' segni nelle calcolazioni.

Osservazioni sul termometro.

212. Si era prima annessa grande importanza nell'avere il termometro privo il più possibile di aria, ma presentemente i fisici han confermato l'osservazione fatta da Flaugerque su lo spostamento che succede dopo qualche tempo nello zero di questo strumento per opera della pressione atmosferica, la quale fa trovarlo più sopra di una frazione di grado assai sensibile. E Bellani aveva già osservato, che a capo di due anni questo spostamento diveniva più rilevante. Per evitar tale alterazione, la quale è da tenersi seriamente in conto nelle ricerche fisiche e soprattutto meteorologiche, Flaugerque vi pervenne col far soffiare una piccola sfera nella estremità del cannello, affinchè, stando sempre piena di aria, potesse questa per la sua elasticità far continuatamente equilibrio alla pressione atmosferica, e così impedirsi le variazioni di capacità nel serbatoio del mercurio, e conseguentemente lo spostamento dello zero. Ma siffatta alterazione è più probabile che dipenda dalla lentezza con cui le molecole del vetro tornano alla posizione di equilibrio dopo il riscaldamento e raffreddamento rapido a cui sonosi soggettate nella formazion del termometro, che dalla pressione atmosferica.

Legrand esaminando accuratamente tal fenomeno ha trovato, che siffatta alterazione nello zero non succede alle temperature ordinarie, e che essa avviene anche ne' termometri aperti, e perciò egli crede doversi apporre al subito ristringimento del vetro quando il raffreddamento si fa prontamente; il perchè egli osserva, che ogni volta che si vogliono sperimentar temperature più alte, deve aversi cura di verificare in ogni operazione lo zero della scala del termometro che si adopera, e far lo stesso in ogni anno per que' che sono destinati alle osservazioni meteorologiche, tenendo in conto la correzione fatta su lo zero.

213. È raro che i due punti fissi segnati ne' termometri corrispondano a tutte le divisioni, perchè si è detto esser quasi impossibile che il diametro interno de' cannelli si trovi eguale in tutta la lor lunghezza, e perciò deve farsi una tavola per ciascun termometro, perchè se ciò potesse aversi, basterebbe con-

frontare il termometro che vuol graduarsi con un altro già graduato, in un dato numero di gradi, p. e. da 20 a 30, segnar questa distanza e dividerla in 10 parti eguali, affinchè si potesse proseguire a comporre la scala con la stessa misura de' gradi così trovati. Per i termometri ordinarii destinati ad usi delle arti, o delle variazioni delle temperature dell'atmosfera, questa pratica potrebbe adottarsi, ma per que'che servono alle ricerche fisiche, fa duopo di tutte le precauzioni esposte affinchè la scala risulti esatta.

Regnault ha dimostrato che due termometri a mercurio che camminavano uniformemente da zero al grado del bollimento dell'acqua, non eran poi di accordo per gli altri punti superiori o inferiori della scala, e le differenze andavano sovente discordanti di più gradi, quando i due termometri non erano fatti con lo stesso vetro. Il perchè i termometri a mercurio, che sono destinati alle ricerche precise e paragonabili, debbono non solo corrispondersi ne' due punti indicati, ma ancora alle temperature alquanto elevate.

214. Pierre ha potuto da varie sperienze fatte su questo proposito stabilire; 1 che due termometri a mercurio che si accordano da zero a 100°, non si corrispondono poi nelle temperature comprese fra questi due punti verso il mezzo degl'intervalli che essi comprendono, ma le differenze, nel più numero de'casi, sembrano tali da potersi trascurare; 2 che de' termometri a mercurio, de'quali uno ha il serbatoio di cristallo e l'altro di vetro, che si accordano fra zero e 100°, posti nelle stesse condizioni, quando passano da 250 a 300 gradi, possono dinotar temperature la cui differenza può esser di più gradi; 3 che in eguali circostanze i termometri a serbatoio di vetro soffrono meno variazioni di que' di cristallo. E poichè la composizione de' vetri di commercio è variabilissima, ed il modo come son fatte le sfere, o i cilindri in questi strumenti può avere assai opera su le modificazioni molecolari della sostanza de'serbatoi, debbono tali ragioni contribuire alle differenze che mostrano i termometri quando si vogliono paragonare fra loro. Perciò i termometri a mercurio, comunque fatti con tutte quelle precauzioni sinora additate da' fisici, avuto riguardo a tutte le cagioni che possono concorrere ad alterarli, debbon presentare non poche imperfezioni nelle loro indicazioni, e però nelle sperienze in cui si richiede grande precisione fa duopo tenerle in conto.

Le sperienze fatte da Despretz han confermate le osservazioni esposte, ed esaminando il soggetto con ogni attenzione possibile, ha scoperto ancora, che lo zero del termometro va soggetto ad oscillazioni non solo da questo punto a quello dell'acqua in bollimento, ma anche a quelli che succedono nel corso delle stesse sperienze. Così quando si tiene ad una temperatura bassa

di-20°, dopo qualche tempo lo zero ascende, e se è mantenuto ad una temperatura alta, si vede abbassare. Nell'uno e nell'altro caso lo zero non torna subito al punto primitivo, ancorchè si saggi dopo immergendolo nel ghiacchio fondente, cioè a quella temperatura a cui erasi fissato. Il perchè ha dedotto Despretz da tale ed altri fatti che vi hanno ragione, questa conseguenza, che tutte le volte che le molecole di un solido sono portate fuora la lor posizione di equilibrio per una cagione qualunque, esse non riprendono mai immediatamente la posizione primitiva quando questa forza ha cessato di operare, ma dopo un tempo che dipende dalle circostanze in cui trovasi posto lo strumento.

Il termometro a mercurio va in accordo con quello ad aria da — 36° sino a 100°; sorpassata questa temperatura, il primo avanza di una proporzione variabile. Dopo queste considerazioni Petit e Dulong, paragonando i due termometri, ebbero i seguenti risultamenti.

Termometro a mercurio	Termometro ad aria, corretto nella dilatazione del vetro	Differenza
100°	100°	0
150°	148,70	1,30
200°	197,05	2,95
250°	245,05	4,95
300°	292,70	7,30
360° bollimento del mercurio	350	10,00

215. Ma le sperienze recentemente fatte da Regnault su lo stesso soggetto han dato risultamenti differenti. Egli ha comprovato che il termometro a mercurio e quello ad aria camminano quasi uniformemente da 0 a 100, come Gay-Lussac, Petit e Dulong avevano osservato. I due termometri si seguono ancora sensibilmente da 100° sino a 250°; e solo a partir da questo punto osservasi che il termometro a mercurio prende il disopra su l'altro. A 300° la differenza è di un grado circa; a 325° di 1,75; a 350 di 3, 3.

Tal disparità così grande fra le sperienze di Regnault e quelle fatte da Petit e Dulong, la cui grande precisione che questi mettevano nelle loro ricerche è a tutt'i fisici notissima, farebbe credere inesatte quelle del primo. Ma oltre le cagioni di errore che posson presentar siffatti strumenti, da noi notate, Regnault fa delle osservazioni che non sono prive d'importanza. Così due termometri a mercurio che si accordano da zero al punto del bollimento dell'acqua pura, non coincidono poi in

ogni altra temperatura in ciascun punto della scala ; e quando questi strumenti non son fatti con lo stesso vetro, la differenza si fa più rilevante. Il perchè i termometri che si fan servire alle ricerche fisiche assai minute, debbono esser paragonabili non solo nei due punti fissi della scala, ma si bene alle temperature più alte a cui voglionsi esporre.

Ecco i risultamenti ottenuti da Regnault:

Termometro ad aria	Termometro a mercurio	Differenza
0°.	0	0
50	50,2. . . .	+0,2
100	100, 0 . . .	0.
150	150, 0 . . .	0.
200	200, 0 . . .	0.
250	260, 3 . . .	+0,3
300	301,2. . . .	+1,2
325	326,9. . . .	+1,9
350	353,3. . . .	+3,3

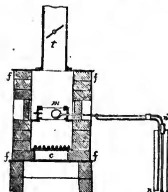
216. Se poi si costruissero termometri con le materie qui sotto notate, essendosi detto che i corpi non si dilatano tutti della stessa quantità per una medesima temperatura, quelle dinotate da ciascun grado della scala centigrada essendo eguali ad un centesimo della dilatazione totale fra il ghiaccio fondente e l'acqua in bollimento, si avrebbe, che le temperature segnate dai diversi termometri sono:

Termometro ad aria	300°
di vetro.	352,9
di ferro.	372,6
di rame.	329
di platino	311,6
a mercurio, corretto della dilatazione del vetro	314,15
a mercurio ordinario. . . .	307,8

217. Il cammino progressivo del termometro ad alcool differisce parimente da quello del termometro a mercurio, perchè la dilatazione dell'ultimo differisce da quella del primo. I termometri ad alcool convengono nelle determinazioni più basse sotto lo zero, per le quali non possono adoperarsi quelli a mercurio, cioè in quelle in cui questo liquido gela.

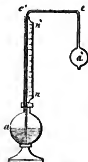
I termometri ad aria sono adoperati nelle ricerche ove si volesse attingere la massima precisione, tanto nelle altissime che nelle assai basse temperature, dappoichè siccome per queste ulti-

me si è detto, che pel punto in cui gela il mercurio si adoperano i termometri ad alcool, questo non può dare risultamenti così esatti come il termometro ad aria, perchè ignorasi qual legge segue l'alcool a temperature più basse di quelle in cui il mercurio si fa solido. Quando poi vogliousi adoperare i termometri ad aria per osservar le temperature altissime, il bulbo *m* ed il cannello *nn'* si fa di platino e di una data lunghezza come vedesi nella figura, saldandovi l'ultimo con l'oro, piegandolo ad angolo retto in *n'* per fissarvi poco sotto in *n* un cannello di vetro per poterlo immergere nella boccia che contiene il mercurio, come nel termometro di Drebbel, ed osservar le variazioni della colonna liquida ove si trova fissata la scala.



Lo strumento vedesi in sito nel fornello *ffff* a corrente di aria. La valvola che vedesi sopra *t* nel cammino del forno, serve per diminuire o crescer la corrente di aria che viene dall'apertura *c* del cenerario.

Per le temperature appena sensibili de'mescugli di liquidi, non potendovisi immerger la sfera de'termometri ad aria, mi avvisai fin dal 1822 farvi la modificazione che vedesi nella figura di lato; cosicchè piegato il cannello in due rami paralleli *nn'*, *e a'*, la palla *a'* si trovasse in grado d'immergersi ne'liquidi. Ed usando di un cannello da termometro, potei render sensibile lo strumento al punto, che ciascun grado del termometro a mercurio si trovasse diviso in 100 gradi nella scala *nn'* appostavi, per aversi le frazioni di centesimi di gradi, lo che non si aveva con gli altri termometri ad aria conosciuti.



218. Poichè si è detto, che le scale tutte dei termometri son fatte con lo stesso principio, meno quella di Fahrenheit, il cui zero fu preso in un mescuglio frigorifico, e che da questo sino alla temperatura del ghiaccio fondente vi passano 32 gradi, nel caso che vogliasi rapportare i gradi di una scala a quelli di un'altra, sapendosi che 80 gradi di Reaumur o di Deluc, 180 di Fahrenheit, e 150 di Delisle corrispondono a 100 del termometro centesimale, basterà una semplice proporzione per potervi riuscire.

Supponiamo per esempio che vogliasi ridurre 65 gradi Reaumur in gradi centigradi, si avrà la proporzione

$$80 : 100 :: 65 : x = 65 \times \frac{100}{80} = 81,25.$$

Nel caso che vogliasi far la stessa operazione pe' gradi Fahrenheit, fa duopo sottrarre prima 32 per aver lo zero eguale a quello degli altri termometri, perchè si è detto corrisponder lo zero centigrado a 32 Fahrenheit. Così volendo sapere a qual grado centigrado corrisponda il 115mo di Fahrenheit, si farà la proporzione

$$180 : 115-32 :: 100 : x = 46^{\circ}, 11,$$

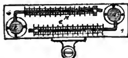
Nel caso che si domandasse semplicemente, quando un tal numero di gradi Fahrenheit, p. e. 17, valgono di gradi centigradi, allora non vi sarebbe alcuna riduzione da farsi, e la proporziobe sarebbe

$$180 : 17 :: 100 : x.$$

219. Possono anche trasformarsi i gradi di un termometro in altro modo più semplice. Moltiplicando i gradi di Reaumur per $\frac{5}{4}$, si trasformano in gradi centigradi, e reciprocamente moltiplicando i gradi centigradi per $\frac{4}{5}$ si cambiano in gradi di Reaumur. Medesimamente per una temperatura data in gradi di Fahrenheit, basta sottrarre 32, e moltiplicare il residuo per $\frac{5}{9}$ per rapportarsi in temperatura centigrada, moltiplicando quest' ultima per $\frac{9}{5}$ cambiasi in temperatura di Fahrenheit.

Termometrografi, o termometri a maximum *ed a* minimum.

220. Siccome nelle osservazioni meteorologiche occorre saper la temperatura più alta e la più bassa che il termometro ha segnato in un intervallo di tempo dato, per non restarsi l' osservatore sempre attento a conoscerla, si sono immaginati de' termometri a *maxima* ed a *minima* e quelli detti *termometrografi* per dinotarla. Tra le differenti disposizioni date a' primi, dopo quella di Rutheford, di Six e Bellani, quella che vedesi nella figura, e che si appartiene al primo, è la piu semplice e la più generalmente usata. I due termometri ricurvi, uno ad alcool *a*, ed un'altro a mercurio *e* sono posti orizzontalmente in senso inverso de' loro serbatoi. Il termometro a mercurio ha l' indice *n* mobile di filo di ferro, e quello ad alcool lo ha di vetro *c*, i quali vi s'introducono prima di chiuderli. L'indice *n* spinto in-



nanzi dalla colonna mercuriale, quando la temperatura si alza, nel tornare il liquido alla temperatura osservata, lo lascia nello stesso punto ove erasi fermato, e così segnasi la temperatura più alta a cui ha potuto giugnere, e perciò il termometro si è dette a *maxima*. L'indice del termometro a *minima*, cioè di quello a spirito, è un piccolo cilindro di vetro nero che scorre liberamente nel diametro interno del cannello, e perciò non viene rimosso dal liquido quando si dilata, ma solo quando si ristringe vien trascinato indietro; ed ove dopo si dilata un'altra volta, lo lascia nella posizione di prima, il che permette osservare la più bassa temperatura segnata nell'intervallo dato di tempo. Nel cominciar l'esperienza, i due indici si fan passare esattamente sull'estremità della colonna liquida, inclinando lo strumento, e servendosi di una calamita per l'indice di ferro, il quale è meno mobile dell'altro di vetro. De'due indici dunque, quello in ferro resta sempre fuora la colonna di mercurio, e l'altro di vetro entra nella colonna di spirito colorato.

Il *termometrografo* di Six, modificato da Bellani e da Bunten poco differisce da quello di Rutheford descritto ed adottato da Kaemtz, nel suo *Corso di meteorologia*, perchè l'ultimo è più generalmente usato, e più facile a costruirsi. Il nome dunque di *termometrografo* non dinota uno strumento fatto sopra principii diversi di quelli su cui fu eseguito il *termometro* a *maximum* ed a *minimum*, ma esso è semplicemente una modificazione di quest'ultimo.

In questi strumenti il grado *minimum* è segnato dalla estremità superiore dell'indice, ed il grado *maximum* dalla estremità inferiore. L'indice di ferro finisce dopo qualche tempo col tuffarsi nel mercurio. Greiner, per evitar siffatta alterazione, lo ricovre prima di un cannellino di vetro con pareti assai sottili, per impedire il contatto del mercurio col ferro.

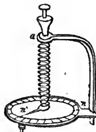
Termometri metallici.

221. I termometri metallici sono poco usati, perchè si considerano meno esatti di quelli a liquidi e ad aria. Il principio su cui son fatti poggia essenzialmente su l'allungamento e ritiramento di una lamina metallica fissata per una delle sue estremità contro un corpo la cui dilatazione è poco sensibile, e l'altra trovasi in comunicazione di un sistema che può far muovere l'indice sopra un quadrante su cui sono segnati i gradi della scala, e questi si esprimono in funzione con i gradi del termometro a mercurio.

In Alemagna si fanno termometri metallici in foggia di oriuoli, con quadrante smaltato simile, sovrapponendo insieme lamine metalliche differentemente dilatabili, mettendo quella

che lo è più sempre nell'esterno. Esse sono delle molle elastiche circolari fissate per un estremo, trovandosi l'altro in comunicazione di un sistema di rocchetti e ruote dentate, e su l'asse di una di esse è fissato l'indice che percorre il quadrante. Ne risulta da questa disposizione, che quando la temperatura aumento o scema, la lamina esterna allungandosi o accorciandosi determina tutto il circuito delle lamine ad allargarsi ovvero restringersi, e da tal movimento ne avviene quello dell'ago sul quadrante. Le lamine adoperate sono una di ottone ed un'altra di acciaro, unite per pressione, situando l'ultima all'esterno. Questi termometri sono abbastanza esatti, assai sensibili alle più piccole variazioni di temperatura, e facili a trasportarsi, ma essi tardano alquanto nel mettersi in equilibrio di temperatura.

222. Brequet costrusse un termometro metallico assai sensibile su lo stesso principio. La lamina fatta ad elica come vedesi nella figura, conteneva tre metalli, cioè platino, oro, argento. L'ultimo, come più dilatabile, fu posto all'esterno, ma l'oro potrebbe sopprimersi. Una delle estremità trovasi fissata in alto in a, e l'altra porta l'indice n' che segna i gradi su la circonferenza. Le lamine hanno la larghezza di 1 a 2 millimetri, e quella di oro che sta in mezzo, serve per saldare le altre due. Questo sistema di lamine ha dapprima una spessezza assai maggiore, ma fatto passare successivamente pel laminatojo si porta a quella di $\frac{1}{50}$ di millim. Quanto alla ineguale dilatazione del platino e dell'argento, succede che l'elica si contorce o si ritorce quando la temperatura si alza o si abbassa, il che obbliga l'ago n' a seguire questo movimento. La graduazione dello strumento si fa paragonando il cammino dell'ago n' a quello di un termometro assai sensibile. Comunque Brequet abbia fatto questi strumenti assai piccoli, ed anche tascabili nondimeno si preferiscono quelli di Alemagna come più facili a portarsi ed a tenersi inalterati per lunghissimo tempo.



Pirometri.

223. I *pirometri* sono istrumenti che servono a segnare le altissime temperature. Se ne son fatti di diverse maniere, ma sembra che non ce n'ha uno che abbia sinora raggiunta quella rigorosa precisione che si richiede. I pirometri metallici poggiano su la dilatazione loro, e quelli ad argilla sul restringimento che questa soffre a misura che si espone a temperature più alte. Gl'inconvenienti poi che essi presentano sono: 1 perchè non si prestano comodamente alle osservazioni come i termometri

ordinarii, i quali più facilmente possono mettersi a contatto coi corpi; 2 perchè non sono paragonabili abbastanza co' termometri a liquidi e ad aria.

I pirometri metallici sono assai simili a' termometri fatti con queste stesse sostanze. Quello che si è descritto al § 187, come vedesi nella fig. se fosse fatto tutto di platino, e situato sopra una tavola di porcellana, potrebbe servire a segnare le alte temperature. Daniel lo fece costruire con un cilindro di platino posto sopra un mattone fatto con pasta di grafite ed argilla infusibile, sul quale una delle sue estremità essendo fissa e l'altra libera a muoversi, allungandosi il cilindro fa camminar l'ago anche di platino al modo dell'altro pirometro modificato da Brogniart. E poichè si è paragonato l'allungamento del cilindro con quello della colonna di mercurio nel termometro fatto con questo liquido, il pirometro di Daniel è suscettivo di esser diviso ne' gradi del termometro centigrado a mercurio.

224. Il termometro ad aria, fatto di platino, come si è detto al § 217 si fa servir da pirometro, e si crede poter esso segnar meglio che gli altri le più alte temperature; ma ciò può avverarsi sino a certi limiti, dappoichè quando la palla dello strumento si è fatta rovente, racchiude appena pochissimo residuo di aria sommamente dilatata, cosichè i gradi più alti non possono dinotarsi con questo strumento, e perciò in generale si fa uso del pirometro di Wedgwood ad argilla.

Si forma il pirometro di Wegdwood con una lamina spessa di ottone, o di altro metallo, su la quale si applicano due regoli dello stesso metallo, in modo che formino un canale convergente. All'estremità in cui questi sono più divergenti, si allontanano di 12, 69 millim. ed all'altra estremità ove più si avvicinano, sen discostano di 7, 61 millim. Si divide tutta la lunghezza del canale in 140 parti uguali, e siccome questa è di 22 pollici, così ciascun grado corrisponde ad $\frac{1}{10}$ di pollice. Quando vi s'introduce un cilindro di argilla nell'estremità larga, che giunge fino a 10 a 12 gradi, è naturale che dopo di essere diminuito di volume per l'azione del fuoco, vi si deve internare di più, e segnare così maggior numero di gradi.

La sostanza che si fa entrare nel canale cioè l'argilla, soffre una diminuzione di volume proporzionata al grado diverso di calore a cui si espone, e che resiste all' azione delle più alte temperature che raggiungono i migliori fornelli animati da doppii mantici.

Si dà al prezzo di argilla la forma cilindrica alquanto appiattita ad una delle facce. L'autore ha provato, che un miscuglio di due parti di argilla di Cornowaglia, ed una di allumina pura precipitata, può servire con miglior successo, poichè le argille ordinarie si ritirano più o meno per un medesimo grado di fuo-

co. Ma quando si vuole adoperare questo cilindro è duopo prima seccarlo al calore dell'acqua bollente, poi misurarlo esattamente nel pirometro, e notare ove giunge; si passa quindi nel fuoco di cui vuol conoscersi il grado di sua intensità, e si ritira dopo qualche tempo; allorchè si sarà raffreddato, s'introduce nella scanalatura dello strumento, e si osserva sin dove può essere spinto, per conoscere la sua diminuzione in lunghezza e l' attività del fuoco a cui fu sottoposto. Un cilindro che servì una volta può impiegarsi di bel nuovo, ma sempre ad una temperatura molto più elevata di quella del primo saggio. Il pirometro Wedgwood comprende un'estensione di circa 32000° gradi Fahrenheit (circa 17000° gradi centigradi) o circa 54 volte più lo spazio che vi ha in quel termometro fra il punto della congelazione e del bollimento del mercurio, i cui punti servono di limiti estremi ne' termometri a mercurio.

Wedgwood ha cercato di ragguagliare i gradi pirometrici con quelli del termometro di Fahrenheit, e crede di potere stabilire, che lo zero del suo pirometro corrisponda a 1077° del termometro suddetto (580°, 56' del termometro centigrado); e ciascun grado essere eguale a 150° Fahareneit. (54° centigradi) (1). Se il restringimento delle differenti argille fosse sempre uniforme per un egual cambiamento di temperatura, il pirometro fatto con queste sostanze dovrebbe meritar la preferenza; ma tanto non si avvera, perchè nelle stesse circostanze, più sorte di argille o mescugli di silice ed allumina non si ristringono della stessa quantità. Più cilindri della medesima argilla presentano ancora le stesse irregolarità allorchè si ristringono, e per diminuir gli errori ne'risultamenti, fa duopo adoperarne molti nella stessa circostanza, e prender la media del loro restringimento.

Misura delle temperature.

225. La misura delle temperature ha non poco occupato i fisici a fin di trovare i mezzi per poterla esattamente determinare. Tenendo essi in conto le imperfezioni già notate negli strumenti che servono per conoscer se la quantità di calorico di un corpo abbia o no un determinato rapporto con quello dell'altro, han potuto notar le difficoltà che debbono presentare siffatte ricerche. La *temperatura* o *temperie* di un corpo, è il grado del

(1) Per ridurre i gradi di Wedgwood a quelli di Fhar. abbiamo $W \times 130 + 1077 = F$.
Inversamente, per ridurre i gradi Fahr. a quelli di Wedgw si ha,

$$F - \frac{1077}{180} = W \text{ ec.}$$

suo *riscaldamento* o del suo *raffreddamento*. Si dice ordinariamente temperatura *bassa* quella che il termometro segna sotto lo zero, e temperatura *alta* quando lo strumento segna gradi sopra l'altro limite della scala, cioè del calor dell'acqua bollente. Per le temperature bassissime si è detto che si adoperano i termometri ad aria, a spirito, ed il termomoltiplicatore, e per le temperature più alte i pirometri. Petit e Dulong han creduto che i termometri o pirometri ad aria possono servire meglio che i termometri fatti con liquidi e solidi a segnare ancora la alte temperature, ma si è detto più sopra che ciò non si è poi avverato nel fatto, e perciò il pirometre di Wedgwood, comunque imperfetto, ha ritenuto ancora nelle arti la preferenza.

Partendo i due fisici dalla dilatazione o ristringimento uniforme che presentano i fluidi aeriformi, preferiron questi a'liquidi ed a'solidi, i quali per uno stesso grado di calore non si dilatano tutti egualmente, e perciò le misure delle temperature prese con questi strumenti non sono paragonabili, e danno risultamenti poco esatti.

Il mercurio perchè si avvicina più che gli altri liquidi a'fluidi aeriformi, fu adoperato di preferenza da Petit e Dulong nelle loro sperienze di paragone. Essi osservarono che da — 36° sino a + 100° non vi ha sensibile differenza tra un termometro a mercurio ed un altro di platino, come quello descritto, a dilatazione di aria, ma oltrepassati i 100 gradi, i due strumenti cessano di dare risultamenti uniformi, come vedesi nella tavola seguente.

Termometro a mercurio	Termometro ad aria
— 36°	— 36°
0	0
+100	+100
150	148,70
200	197,05
250	245,05
300	292,70
360	350,00

In queste sperienze Dulong e Petit tennero conto della dilatazione che il calore fa provare al vetro, e oltre quanto si è esposto più innanzi, aggiugneremo, che dopo le più esatte sperienze essi trovarono che il vetro

$a + 100°$ si dilata di $\frac{1}{38760}$
$a + 200°$. . . . . . $\frac{1}{363004}$
$a + 300°$. . . . . . $\frac{1}{35000}$

Siffatta dilatazione del vetro produce a + 100° ed a + 200° un

apparente dilatazione nel mercurio, la quale per ciascun grado del termometro può elevarsi, secondo le sperienze di Laplace e Lavoisier, ad $\frac{1}{6450}$ del volume che occupava a zero, ma questa dilatazione non è sempre uniforme, e nelle determinazioni ordinarie può calcolarsi per $\frac{1}{6000}$.

Si è osservato ancora da Dulong e Petit, che a $+ 300°$ la dilatazione del vetro è si rilevante che va perduta ogni regolarità ne'risultamenti. E difatti il mercurio per ciascun grado del term. centigrado si dilata da zero a $+ 100°$ di $\frac{1}{5550}$; da $+ 100°$ a $200°$ di $\frac{1}{5525}$; e da $+200$ a $300°$ di $\frac{1}{5300}$ dello spazio che occupa a zero. Per conseguenza a $+ 300°$ gradi centigradi, misurati col termometro ad aria, un termometro a mercurio che avesse l'inviluppo di una sostanza che si dilatasse come il mercurio, dovrebbe segnare $+ 307,74$. Che se poi si adoperassero i corpi qui sotto notati alla formazione de' termometri, essi segnerebbero, come hanno sperimentato Dulong e Petit a $+ 300°$ del termometro ad aria, i gradi come appresso:

Ferro. . . .	332,2. . . .	Vetro. . . .	322,1
Argento . . .	329,3. . . .	Rame. . . .	320,3
Zinco. . . .	328,5. . . .	Platino . . .	317,9
Antimonio . .	324,8. . . .	Mercurio. . .	314,15

Ignorasi se la temperatura ha de'limiti al di là de' quali non possa nè alzarsi nè abbassarsi maggiormente. Dalton, Clemente Desormes, Harapathe ed altri fisici, tenendo in conto quanto erasi detto su la possibilità dell'assenza assoluta del calorico, han tentato determinare a qual grado sotto lo zero reale del termometro corrispondesse lo zero assoluto, ma i risultamenti riuscirono sempre discordanti, e perciò le tante deduzioni sinora ammesse debbono reputarsi poco esatte.

Calorico latente.

226. Quando i corpi più caldi di alcuni altri son posti in contatto, manifestano una porzione di calorico sensibile, ed un'altra disparisce e diviene *latente*. Si è perciò nel sistema dell'emissione ammesso, che questo calorico può considerarsi come nascosto fra le molecole del corpo, e che per renderlo sensibile bastono i mezzi meccanici, cioè un semplice cambiamento nella loro densità primitiva. È questo il *calorico latente* che si crede che mantiene lo stato sotto cui si presentano i corpi, e che il termometro non dinota se non quando si rende sensibile col mutar lo stato de' corpi con i mezzi meccanici o de' mescugli.

Nell' esporre il calorico svolto con i mezzi meccanici (§ 118) si è detto quanto qui giova ritenere su gli esempii dell'aria, che

compressa in un fucile pneumatico sviluppa tanto calorico da comunicare la combustione all' esca posta nell' estremità dello stantuffo; che un ferro percosso su di un'incudine si riscalda fortemente ec.; ed aggiugneremo, che l'acqua gittata in poca quantità su la calce caustica, si condensa e sviluppa tutto il calorico che la manteneva nello stato fluido, e che nell' oscuro il fenomeno suol talvolta essere accompagnato anche da svolgimento di luce. In questo stato il calorico si è considerato ne' corpi come l'olio ne' semi, i quali compressi, lo lasciano uscir liberamente.

Ma Blak fu il primo a conoscere che nel passaggio di stato de' corpi, e soprattutto nella fusione della neve, non tutta la quantità di calorico assorbito si rendeva sensibile al termometro; che anzi nella fusione della neve avviene, che il calorico necessario per ridurla allo stato liquido sparisce intieramente, e dopo appena fusa prosegue a segnar zero. È appunto questo calorico che non è più dinotato dal termometro quello che si è detto *calorico latente o interposto*. Così p. e. mettendo la neve in un vaso tenuto sul fuoco, essa segnerà sempre zero fino alla sua total fusione; intanto se contemporaneamente si metta in un altro simil vaso, ed alla stessa temperatura l' eguale quantità di acqua, si troverà che questa segnerà al termometro centigrado + 75°, e la neve fusa rimarrà a zero. Lo stesso si ottiene in un altro modo, mescolando cioè pesi uguali di neve ed acqua riscaldata a + 75°, perchè il mescuglio, subito dopo la fusione della neve, segnerà anche zero; il che prova, che la neve nel fondersi assorbisce ed è capace di rendere latente tutt'i 75° gradi di calorico dell' acqua, o in altri termini, che la quantità di calorico che bisogna per alzare la temperatura di una libbra di acqua da 0° a + 75°, è quella che abbisogna per fondere una libbra di neve senza punto alzar la sua temperatura. Ma se invece si unisse una libbra di acqua a 0°, con un'altra libbra di acqua a + 75°, il miscuglio delle due libbre di acqua segnerebbe+ 37°,5; perchè esso dovrebbe seguir la legge di equilibrio del calorico, e perciò i mancanti 37°, 5 a'75 gradi che segnava l'acqua si sono comunicati all' acqua che era a 0°, per fare alzare alla stessa temperatura l' acqua che prima era a + 75°, senza che vi fosse stata perdita di calorico divenuto *latente*, come avveniva nell'esempio precedente colla neve. Or chiamando *caloria* le unità di calore necessarie (1) per alzar l'acqua di un grado, il ghiaccio contiene 75 *calorie*, cioè 75 unità di calorico allo stato latente. Al § 326 e 327 del 1°. Vol. si è detto che il vapore

(1) Si dice unità di calorico, *caloria* o *terma*, la quantità di calorico necessaria per alzare la temperatura di un chilogramma di acqua da zero a 100 di un grado del termometro centigrado.

di acqua ne racchiude 550. E quanto si è detto dell' acqua può ritenersi per tutt' i corpi che sono suscettivi di cambiare il loro stato primitivo. (V. calorico specifico).

Osserviamo ancora sul calorico latente, che quando il calorico si applica ad un corpo, dovendo questo dilatarsi, ed in conseguenza cambiare il suo stato primitivo, dovrà avvenir sempre assorbimento di una certa quantità di calorico, senza che la temperatura del corpo aumenta o scema. In questo mentre quella parte che viene adoperata a produrre quest' effetto, è il *calorico latente*, e l'altra che si svolge e si fa sensibile, è il *calorico sensibile*, o *termometrico*.

Così il calorico latente opera esclusivamente nel produrre le azioni meccaniche su le particelle ponderabili allontanandole e modificandone la loro condizione di equilibrio, dal che ne conseguitano i moti dell' etere interposto; il perchè si ammette, che il calorico che penetra o esce dal corpo, quando passa da una temperatura all'altra si compone di due porzioni distinte, cioè una *sensibile*, la quale richiederebbe la variazione di temperatura senza cambiamento di volume, e l'altra *latente* che cagiona le dilatazioni o le contrazioni osservate.

227. Il fenomeno è sopratutto assai notevole ne' gas, allorchè si comprimono, perchè nel diminuirsi il loro volume il calorico di dilatazione si fa sensibile, ed il gas trovasi riscaldato, come prova il fucile pneumatico; all'opposto facendo passare un gas in uno spazio più grande di quello in cui possa dilatarsi, il suo volume aumenta, ma esso segna gradi di freddo, perchè deve prender dal suo calor termometrico quello che fa duopo per la sua dilatazione. Con ciò spieghiamo perchè l' aria innalzandosi nell'atmosfera raffreddasi dippiù a misura che ascende più in alto. Si è calcolato che se essa non assorbisse calorico dagli strati dell'aria che attraversa, a cominciar da quella che è su la superficie della terra, quando la sua temperatura p. e. è a + 20°, dovrebbe, all'altezza di 6900 metri, segnar — 40° al termometro centigrado, ed il suo volume farsi doppio di quello che aveva prima di alzarsi a quell' altezza; ma poichè in questo punto la temperatura trovata nelle diverse ascensioni aereostatiche è — 8° invece di — 40°, ciò prova che l'aria che si alza riceve dagli strati che attraversa una parte del loro calorico.

Tilorier pervenne a solidificar l' acido carbonico facendolo uscir quando era fortemente compresso, ed opponendo qualche ostacolo alla sua dispersione nell' aria. Egli osservò, che sopra 3 parti di questo gas una assumeva lo stato solido, le due altre ritenevan lo stato gassoso. In quest' esempio la solidificazione è il risultamento del freddo intensissimo prodotto allorchè provando il gas compresso un' aumento subito di volume, riceve dal suo calorico termometrico quello che bisogna per dilatarsi.

Il fucile pneumatico poi poggia sopra un' azione contraria, e perciò il calorico che svolgesi dalla compressione dell' aria o di altro fluido aeriforme, è assai grande e giugne ad accender l'esca.

L' effetto de' *mescugli frigorifici*, e dell' evaporazione, o di ogni altro mezzo con cui producesi freddo, deriva dalle stesse cagioni, perchè poggia su la proprietà che hanno i corpi solidi di assorbir calorico nel momento in cui passano a liquidi, e di espandersi questi allorchè assumono lo stato aeriforme, assorbendo parimenti calorico.

Del freddo.

228. Il *freddo* non è più una *materia salina frigorofica*, come credevano Muscembrok, de Mairan, e poi de Sausurre e Pictet, ma una semplice mancanza di calorico nel sistema dell' emissione, ed in quello dell'ondulazione sarebbe una minore energia nel moto indotto nell' etere interposto ed in cui trovasi immerso il corpo. Noi non conosciamo il freddo assoluto, ma relativo soltanto, e questo può aversi per la *dilatazione dell' aria*, per *le correnti di aria*, per l'*evaporazione* di liquidi molto volatili, o di gas liquefatti, e pe'*mescugli di sali*, allorchè si sciolgono nell' acqua.

Per la dilatazione dell' aria. Dilatando l' aria in una campana posta sopra una macchina pneumatica, essendovi nell'interno un termometro, si vedrà il mercurio discendere di alcuni gradi, perchè l' aria nel dilatarsi assorbe una quantità di calorico da se stessa, e dal termometro, e perciò la temperatura si abbassa.

Per le correnti dell' aria. L' aria operando successivamente su i corpi riscaldati, ne sottrae calorico, col diminuire il moto dell' etere, e per conseguenza ne favorisce il raffreddamento. Questo effetto non ha luogo su i termometri, perchè l' aria trovasi alla stessa temperatura.

Per l' evaporazione. Bagnando la palla di un termometro ad aria o a mercurio coll' etere, o coll' alcool, si osserverà ch'essi seguano gradi di freddo. Ciò dipende dalla volatilizzazione de' liquidi suddetti, la quale per operarsi, assorbendo il calorico interposto nella sostanza del termometro, ne produce l' abbassamento di temperatura. La stessa sensazione di freddo ci producono questi stessi liquidi applicati su la mano, o in qualunque altra parte del nostro corpo ec.

Cullen sembra che sia stato il primo fisico il quale abbia bene esaminate le leggi della produzione del freddo per mezzo dell' *evaporazione.* Egli stabilì che il freddo è tanto più intenso per quanto la pressione dell' aria è più debole, e perciò osserviamo nel vuoto farsi l' evaporazione più rapida; che questa evaporazione è maggiore in un' aria secca e calda, che in un' aria fredda ed umida, e che i liquidi producono tanto più freddo colla loro evaporazione, per quanto più sono volatili; perciò l' etere

puro messo su la mano produce un freddo così sensibile. Lo stesso Cullen giunse a congelar l'acqua nel vuoto, mettendola in un vaso che teneva immerso in un altro che conteneva l'etere nitroso abbastanza puro.

Ma siam tenuti a Leslie di Edimburgo per una applicazione più semplice di questo principio alla congelazione dell'acqua. A fin di renderne l'evaporazione più pronta, egli sostitui all'etere nitroso l'acido solforico, operando similmente nel vuoto, sotto la campana posta sul piatto di una macchina pneumatica. Questo acido ha il vantaggio di assorbire prontamente il vapore dell'acqua senza disperderlo, e senza ch'esso stesso, diffuso nella campana, supplisca alla pressione dell'aria che prima vi era; ma non succede lo stesso nell'altro sperimento, in cui dopo essersi estratta l'aria dalla campana, deve proseguirsi ad estrarne il vapore dell'acqua e dell'etere, rendendosi così l'operazione più lunga; e perciò in quella di Leslie, fattosi una volta il vuoto, la congelazione accade da se prontamente, perchè a misura che il vapore si alza, viene assorbito successivamente dall'acido solforico (1).

Per la soluzione di alcuni sali. Ciò che abbiamo esposto relativamente all'evaporazione de' liquidi, ed alla dilatazione dell'aria, si può dire presso a poco per la soluzione de' sali. Così nel cambiamento di stato de' corpi avviene, che passando questi dallo stato solido a quello di liquidi, assorbiscono calorico, che prendono da' corpi circostanti e da quelli co' quali sono in contatto; allora nell'unione di un sale col ghiaccio, quando la fusione dell'ultimo e la soluzione del primo succede più prontamente, il freddo che si produce sarà più grande. Farhenheit fece i primi sperimenti su i miscugli frigorifici, e dipoi Walker (2), e Lowitz (3); ma in seguito altri fisici si avvisarono adoperare i gas liquefatti, come si è detto al § 257, e pervennero a produrre un freddo assai più intenso, a cui non erasi prima giunti col soccorso de'soli mescugli frigorifici. Con quest'ultimo mezzo si è potuto congelar molti liquidi, su' quali i mescugli frigorofici non avevano alcun effetto. I mescugli frigorofici che meglio han corrisposto allo scopo, sono i seguenti (4).

(1) Per la riuscita dello sperimento è duopo servirsi di acido concentratissimo, ed agitare un poco l'acqua, collo scuotere leggermente la macchina, poichè è conosciuto che questo liquido può raffreddarsi molti gradi sotto lo zero, senza divenir solido, che quando è rimosso.

(2) Phil. Transact. 1801 pag. 120.

(3) Ann. de chim. XXII 299 e XXIX, 201.

(4) Per produrre l'abbassamento di temperatura osservato, fa duopo che le sostanze solide sian secche, ben mescolate e prontamente unite. Per avere un freddo più intenso deve esporsi il corpo nuovamente all'azione di altri mescugli frigorifici più forti.

Mescugli frigorifici senza ghiaccio.

Mescugli	Parti	Abbassamento del termometro centigrado.	Freddo prodotto.
Acido solforico a 41 Solfato di soda Acqua	3 4 1	da + 10° a — 8.	18
Sale ammoniaco Nitrato di potassa Acqua	5 5 16	da + 10° a — 12	22
Sale ammoniaco Nitrato di potassa Solfato di soda Acqua	5 5 8 16	da + 10° a — 16	26
Solfato di soda Acido nitrico	3 2	da + 10° a — 16.	26
Nitrato di ammoniaca Acqua	1 1	da + 10° a — 16°	26
Nitrato di ammoniaca Carbonato di soda Acqua	1 1 1	da + 10° a — 22°	32
Solfato di soda Sale ammoniaco Nitrato di potassa Acido nitrico Acqua	6 4 2 2 2	da + 10° a —23°.	33
Solfato di soda Nitrato di ammoniaca Acido nitrico Acqua	6 5 2 2	da + 10° a — 26°	36
Solfato di soda Nitrato di ammoniaca Acido nitrico Acqua	9 6 2 2	da + 10° a — 29°	39

Mescugli frigorifici col ghiaccio.

	Parti...	Abbassamento del Termometro.	Freddo prodotto.
Neve	3	da 0° a — 20°.	17,77
Sal marino	1		
Neve	12	da 0° a — 31°.	31
Sal marino	5		
Nitrato di ammoniaca	5		
Neve	3	da 0° a — 33°.	33
Acido solforico	2		
Cloruro di calcio secco e poroso	3	da — 20° a — 55,5. .	35,5
Neve	2		
Neve	4	da 0° a — 4°.	40
Cloruro di calcio	5		
Neve	2	da 0° a — 45.	45
Cloruro di calcio	3		

Oltre i mescugli descritti si adoperano ora i gas liquefatti, esposti al vol. 1. di quest' opera a pag. 214, § 247, quando si volesse produrre il massimo grado di freddo a cui si è potuto giugnere, bagnando ripetute volte il bulbo del termometro a spirito o quello ad aria, dopo averlo coverto con sottile strato di cotone. La pronta evaporazione di que' liquidi produce l'effetto, assai meglio che con ogni altro mezzo prima adoperato.

Conducibilità o propagazione del calorico nell' interno de' corpi.

229. Si è detto al § 92 che la trasmissione del calorico può succedere per irradiazioni e per contatto. Quando il calorico, o il moto vibratorio dell'etere, si propaga nell'interno de'corpi dicesi *conducibilità*. Si chiamano poi *buoni conduttori* que'corpi che meglio trasmettono il calorico o il moto vibratorio da molecola a molecola a maggiore distanza e più prontamente, e *cattivi conduttori* si dicono que' che più lentamente, e poco più avanti del

punto ove applicasi la sorgente calorifica, propagano il calorico o il moto vibratorio dell'etere interposto negli spazii intermolecolari de' corpi. Così noi vediamo una verga di ferro o di altro metallo che riscaldata fortemente in un estremo non può toccarsi impunemente ad 1 a 2 piedi distante dal punto riscaldato, ed un cilindro di carbone, di legno, di vetro ec. può toccarsi ad alquante linee dal punto rovente senza provare una dispiacevole sensazione di caldo. I primi corpi dunque sono buoni conduttori, e cattivi i secondi.

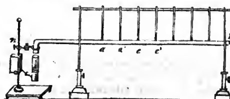
Conducibilità de'solidi—Volendo Ingenohuse paragonare la conducibilità di diversi metalli, si avvisò adoperarli in cilindri della stessa lunghezza e del medesimo diametro, e covertane la metà della loro lunghezza con cera fusa, immergendoveli dentro, espose le altre metà ad un egual grado di riscaldamento, per notar la lunghezza dello strato di cera che fondevasi per effetto del calorico condotto. L'apparecchio da lui adoperato consisteva in una cassetta nella cui parete in fuora eran disposte le verghe metalliche così preparate, e nella cassetta vi pose olio bollente. In siffatto modo egli ottenne la conducibilità di alcuni metalli, come appresso:

1 Argento			
2 Oro		6 Platino	molto inferiore
3 Rame	Presso a poco eguale	7 Ferro	
4 Stagno		8 Acciaro	

230. Ma dopo le sperienze fatte da Déspretz, per incarico avutone dalla Società d'Incoraggiamento di Parigi, adoperando metalli purissimi, pervenne a stabilire l'ordine della loro conducibilità nell'altro modo seguente;

1 Oro	1000,0	5 Ferro	374,3
2 Argento	973,0	6 Zinco	363,0
3 Rame	898,0	7 Stagno	303,0
4 Platino	381,0	8 Piombo	179,6

L'apparecchio adoperato da Déspretz è quello segnato accanto. La barra metallica *b* trovasi esposta, per l'altra sua estremità curvata, in contatto della sorgente calorifica costante della lampada *n*. Nella superficie piana della barra sono praticate, ad egual distanza, alquante cavità sferiche in cui



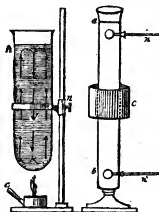
si mette il mercurio, ed altrettanti termometri fatti con lo stesso metallo. La sezione più prossima all' azione della lampada sarà subito riscaldata, e comunicherà il suo calorico alla seconda, questa alla terza e cosi di seguito, il quale farà alzar successivamente la temperatura ne' termometri *aa' ee'* ec. Se noi consideriamo i termometri *aa'e* come assai vicini, quello di mezzo *a'* riceverà il calorico dall'altro *a*, e lo passerà al termometro *e*. Or se la barra metallica non provasse alcuna perdita di calorico per effetto dell' aria che la circonda, la colonna liquida di ciascun termometro si vedrebbe alzare gradatamente, sino che avrà raggiunta la temperatura della sorgente; ma ciò non succede, perchè la perdita di calorico o di moto che la barra fa per irradiazione e pel contatto dell' aria, è abbastanza sensibile. Perciò la propagazione del calorico si fa meno celere, i termometri non giungon mai a segnar la temperatura della sorgente, e si arrestano quando la quantità di calorico o di moto ricevuto da ciascuna sezione si fa eguale a quello che la barra metallica perde per irradiazione e pel contatto dell'aria che la circonda. In questo punto la temperatura nella barra diviene stazionaria, comunque la lampada continui a somministrar calorico, o ad imprimer la stessa quantità di moto vibratorio alle molecole ponderabili della barra, e perciò la temperatura ne' termometri deve diminuire dall' estremità della barra che trovasi in contatto della lampada *n* sino l'altra estremità *b*. Dopo queste sperienze ha potuto dedursi, che il calorico si propaga attraverso i corpi conduttori con temperature che formano una serie decrescente in progressione geometrica, quando le distanze, dal punto riscaldato, crescono in progressione aritmetica. In questo caso il decrescimento è sempre assai rapido.

Altre sperienze fatte su lo stesso soggetto han dato i seguenti rapporti approssimativi, in ordine alla conducibilità di alcuni corpi solidi.

1	Oro	1000	7	Stagno	304
2	Argento	973	8	Piombo	180
3	Platino	981	9	Marmo	24
4	Rame	898	10	Porcellana	12
5	Ferro	374	11	Terra de' fornelli	11
6	Zinco	363	12	Carbone	2,7

231. *Conducibilità de'liquidi*. Non può questa dimostrarsi come ne' solidi, perchè essi sono in generale cattivi conduttori del calorico, e lo conducono *apparentemente* da basso in alto, e non da alto in basso, per la mobilità estrema delle loro molecole, e per la facilità con cui si dilatano, e fatte più leggere, debbono

alzarsi, o costipate divenute più pesanti, scendere attraverso le più leggere. Il perchè tanto quando riscaldansi nel fondo di un vaso alquanto alto, che quando si raffreddano nello stesso punto, dovranno stabilirsi due correnti, una ascendente, allorchè si dilatano, e l'altra discendente ove si raffreddino, come può provarsi mettendo poca segatura di legno nel liquido. Il fenomeno suol dimostrarsi con la provetta *ab* di cristallo con piede, alta 15 a 20 pollici che si riempie di acqua, e nel cui mezzo vi è fissata la vaschetta di lamina di ottone *c* per mettervi l'acqua bollente o la neve. Nel basso della provetta e nell'alto vi sono disposti orizzontalmente i due termometri *n n'* per segnar le variazioni di temperatura. Quando nella vaschetta *c* si mette l'acqua bollente, si vedrà stazionaria la temperatura nel termometro *n'*, ed alzarsi quella del termometro in *n*; ed ove invece dell'acqua si adoperi la neve, o un mescuglio frigorifico, il termometro *n'* segnerà gradi di freddo, e l'altro termometro *n* conserverà la temperatura di prima. Che se poi si mette la segatura di legno nel liquido contenuto nella provetta, si vedranno le due correnti, cioè ascendenti quando il liquido si fa caldo, e discendenti allorchè si fa freddo. Le due correnti succedono per un certo tempo anche nello stesso sperimento, cioè quando si adopera l'acqua bollente ovvero la neve, dappoichè le particelle liquide che si dilatano vicino la sorgente calda, nell'alzarsi toccando le pareti della provetta, si raffreddano e stabiliscono una corrente discendente nel centro dell'acqua che la riempie; il contrario, ma nello stesso modo avviene quando si opera con la neve, perchè si osserveranno parimenti due correnti, una discendente verso le pareti del vaso e l'altra ascendente nel centro dell'acqua che contiene, come vedonsi segnate nel vaso A per mezzo di frecce. Con questo mezzo si prova che il calorico non si propaga attraverso i liquidi come ne' solidi, perchè in questi vi ha dilatazione o contrazione nelle sue molecole, ma ne' liquidi sono queste che si trasportano da un punto all'altro e comunicano il calorico ovvero il moto vibratorio all'etere interposto, il quale si propaga successivamente alle molecole degli strati superiori o inferiori del liquido ec.



Fra i liquidi fa duopo separarne il mercurio e gli altri metalli

quando son fusi, perchè questi si comportano come i solidi, e perciò debbono essi condurre come questi allo stesso modo il calorico.

232. *Conducibilità de'gas.* Essa poco differisce da quella de'liquidi, e sono anche cattivi conduttori, ma riesce più difficile provarne i movimenti interni, o le correnti delle loro molecole, a cagione della massima loro mobilità, e perchè si avvicinano o si allontanano quando si raffreddano o si riscaldano con una rapidità grandissima, non possono osservarsi i moti a cui van sottoposti. Essi anche conducono il calorico come i liquidi per uno *spostamento* delle molecole dilatante le quali, fattesi più leggere, si alzano negli strati superiori. Lo stesso succede quando essi costipansi col freddo, a differenza solo, che in questo caso avviene un passaggio inverso delle molecole liquide più dense attraverso le meno dense ec.

Calorico specifico o capacità de' corpi per lo calorico.

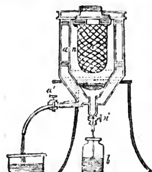
233. Quando diversi corpi dello stesso peso si espongono al medesimo grado di temperatura, per la tendenza che il calorico ha all'equilibrio, a capo di qualche tempo essi segneranno al termometro la stessa temperatura, ancorchè tutti, per effetto della varia loro conducibilità, non ricevessero dalla sorgente la medesima quantità di calorico o di moto. Questa quantità di calorico propria a ciascun corpo, o la proprietà che i corpi hanno di avere o ricevere una quantità particolare di calorico, o di moto, fu dapprima detta da Blak, da Irvine (1) e da Wilke *calorico specifico,* e dopo da Crawford *calorico comparativo,* o *capacità de' corpi per lo calorico* (2).

Il calorico specifico non è la quantità assoluta di calorico contenuto ne'corpi, ma è il calorico relativo necessario, o la quantità di moto impresso all'etere interposto perchè questi segnino al termometro la stessa temperatura che aveva la sorgente in cui si sono esposti.

I mezzi co' quali può determinarsi il calorico specifico dei corpi consistono: 1° nel prender conto della quantità di ghiaccio fuso da uno stesso peso di differenti corpi riscaldati alla stessa temperatura; 2° nel prendere la temperatura media che risulta dal mescuglio di corpi inegualmente caldi; 3° nell' osservare il tempo che i corpi egualmente riscaldati mettono per raffreddarsi alla temperatura dell'ambiente. Il 1° metodo dicesi della *fusione del ghiaccio*, il 2° *de' mescugli*, il 3° del *raffreddamento.*

(1) Blaks Lectures, t. I, 504.
(2) Capacity of bodie for. heat.

234. *Primo metodo.* Per determinare il calorico specifico derivandolo dalla *fusione del ghiaccio*, si adopera il *calorimetro* di Lavoisier e Laplace, che vedesi nella figura, il quale consiste in tre capacità concentriche *ane*, disposte in modo, che la *esteriore a* comunica con la chiave *a'*, e la *media n* e l'*interiore e* con l'altra chiave *n'*. Nel far lo sperimento si riempiono di neve le tre capacità, e nella media s' introduce il corpo riscaldato di cui vuol conoscersi il calorico specifico, covrendolo subito dopo con neve. Egli è naturale, che il corpo nel raffreddarsi farà fondere una quantità di neve contenuta nelle due capacità media ed interiore, e fattane uscir l'acqua per la chiave *n'*, si riceve nella boccia *b* e si pesa esattamente. Ripetendo allo stesso modo lo sperimento con altri corpi riscaldati alla stessa temperatura, il che si ha tenendoli immersi, soli o in un secchietto chiuso, nell' acqua bollente, si perverrà a conoscerne il calorico specifico dalla quantità di ghiaccio che farà fondere ciascuno di essi.



Il ghiaccio che si mette nella capacità esteriore *a* serve per mantener la temperatura del ghiaccio contenuto nelle altre due capacità sempre a zero, ed impedir che alcuna radiazione calorifica esterna penetri nell'interno del calorimetro. Ed in ultimo, fa duopo notare, che non deve mettersi il corpo caldo nella capacità interiore, che è tutta bucata per far passar l'acqua che risulta dalla fusione del ghiaccio, se prima non è uscita tutta l'acqua dalla chiave *n'*, la quale deriva dalla neve fusa quando si è introdotta nelle cavità predette.

Operando in siffatto modo, ed introducendo nel calorimetro uno stesso peso di ogni corpo riscaldato alla stessa temperatura, le capacità calorifiche di essi saranno proporzionali alle quantità di acqua raccolta nella boccia *b*. Per ottener questi numeri, non è assolutamente necessario operar sopra masse eguali ed alla stessa temperatura, perchè può ancora bastar la conoscenza esatta del peso e della temperatura iniziale di ciascun corpo, e rapportar dopo con una semplice proporzione alla capacità calorifica dell'acqua presa per unità, quella degli altri corpi. Così Lavoisier e Laplace conobbero, che le capacità calorifiche de'corpi da 0° a + 100° erano sensibilmente costanti, vale a dire che essi assorbivano sempre la stessa quantità di calorico per alzarsi la loro temperatura di un grado del termometro centigrado, e per conseguenza, dividendo la quantità di ghiaccio fuso per la

temperatura iniziale del corpo presa esattamente nell'istante della sua immersione nel calorimetro, il quoziente dava la quantità di ghiaccio che si sarebbe fuso per l'abbassamento di temperatura di un grado centigrado. Or poichè la quantità di calorico abbandonato da un corpo in un abbassamento di temperatura qualunque, è proporzionale alla sua massa, dividendo la quantità di ghiaccio fuso pel peso del corpo, si avrà quella che si sarebbe fusa per l'unità di peso del corpo.

Quanto poi alle polveri ed alle sostanze liquide, dovendo queste chiudersi assolutamente ne'vasi, deve sottrarsi la quantità di ghiaccio fuso che deriva dal raffreddamento del vaso; il che si ha facilmente con un'esperienza separata, mettendo nel calorimetro solamente il vaso riscaldato alla temperatura del liquido che vi si era introdotto.

Le determinazioni calorifiche de' gas possono farsi anche con questo metodo; ma siccome il volume del gas che potrebbe mettersi nel calorimetro sarebbe assai piccolo, si fa passare il gas riscaldato ad una temperatura costante, come quella dell'acqua in bollimento, per un serpentino che circola intorno la capacità interiore *e* del calorimetro, e che comunica fuora per le due estremità col recipiente, affinchè la corrente del gas, che vi si stabilisce durante l'esperienza, permetta conoscer la temperatura nella sua entrata ed uscita.

Berard e Delaroche, sperimentando il calorico specifico de'gas a volumi variabili, ebbero i seguenti risultamenti:

Gas	Calorico specifico		Calorico specifico
	a volumi eguali.	a pesi eguali.	paragonati all'acqua.
Aria a zero	1	1	0,2669
Acido carbonico . .	1,258. . . .	0,828	0,2210
Idrogeno	0,903. . . .	12,340	3,2936
Ossigeno.	0,967. . . .	0,8848. . . .	0,2361
Azoto.	1	1,0318. . . .	0,2754
Vapore d'acqua . .	1,980. . . .	1,136	0,8470

235. *Secondo metodo per mezzo de'miscugli.* Questo metodo applicasi non solo a misurar la capacità de' corpi, ma benanche a conoscer quelle temperature che il termometro non può indicare. Esso esige per essere esatto, che si supponga la capacità de'corpi pel calorico costante tra i limiti di temperatura che essi provano durante gli sperimenti, quale capacità non cambia molto quando le dilatazioni de' corpi sono poco sensibili.

Blak fu il primo che conobbe il calorico specifico de' corpi

col mezzo de'mescugli, ma v' ha chi pretende che debba attribuirsi a Crawford. Questo metodo consiste nel mescolare insieme due corpi a temperatura differente, osservando la temperatura del mescuglio. Essendo nota la capacità del calorico di uno de' corpi adoperati, si troverà quella dell' altro per l'efficacia ch' esso avrà esercitato sulla temperatura del mescuglio. Così conoscendo la capacità de' due corpi pel calorico, la temperatura del mescuglio, e quella primitiva di una de' due, sarà facile dedurre da questi dati la temperatura dell' altro corpo. Ciò sarà maggiormente rischiarato da' seguenti esempii.

Se si mescoli un chilogramma di acqua a 0° con un chilogramma di mercùrio a + 34°, ne risulterà un mescuglio di due chilogr. a + 33°; dunque, a masse eguali, un grado di temperatura dell' acqua equivale a 33° gradi di temperatura del mercurio; e perciò la capacità calorifica dell' acqua sta a quella del mercurio, come 1 a 33; e se l' unità del calorico specifico dell'acqua si rappresenti per 100, quella del mercurio sarà eguale a 3300.

236. A valersi di questo metodo, che è suscettivo di applicarsi generalmente, è necessario che il corpo non abbia alcuna azione chimica sull'acqua, e per evitare questa cagione di errore, si farà il mescuglio del corpo che si saggia con un altro sul quale non deve avere affatto azione, ed il cui calorico specifico sia conosciuto. Deve ancora conoscersi, che tanto l' aria esterna, che i vasi che s' impiegano debbono essere alla temperatura del mescuglio, il quale deve farsi prontamente, e conoscersi dopo la sua temperatura con esattezza. Per adempiere la prima condizione, si farà uno sperimento precedentemente, adoperando l' acqua alla temperatura dell' aria per determinare approssimativamente il numero di gradi a cui il mescuglio deve alzarsi; allora si abbassa la temperatura dell' acqua di tanti gradi che il corpo caldo le deve comunicare, e si mette dopo in un vaso le cui pareti sieno sottili, facendo lo sperimento e le osservazioni istantaneamente: la temperatura del mescuglio si avvicinerà in tal modo a quella dell'aria esterna, e così gli errori saranno poco sensibili.

237. *Terzo metodo per raffreddamento.* Siccome è conosciuto che un corpo più ha duopo di calorico per innalzarsi ad una data temperatura, più tarda a tornare a quella di prima, si è da ciò tratto l' altro mezzo per conoscere il calorico specifico di ciascun corpo. Basta perciò osservare i tempi che impiegano i differenti corpi, presi sotto lo stesso volume e portati alla medesima temperatura, per raffreddarsi di un egual numero di gradi, badando di dare a tutti la stessa superficie raggiante. Se i corpi sono liquidi, o in polvere, si racchiudono successivamente in uno stesso vaso cilindrico fatto con lamina di argento molto

sottile, e volendo paragonare il calorico specifico di due corpi solidi, come p. e. del ferro e dello stagno, possono formarsi con essi medesimi de' cilindri eguali in volume ed in lunghezza, ed osservare i tempi che mettono per raffreddarsi, dopo averli sospesi all'aria col mezzo di fili di seta. La quantità dunque di calorico perduto per mettersi alla stessa temperatura dell'ambiente, sarà nel rapporto del tempo decorso.

Trattandosi di operare sopra corpi liquidi, o solidi polverizzati, si metteranno ne'vasi come si è detto più innanzi. Operando in siffatto modo Dulong e Petit, e quindi Déspretz, ebbero risultamenti che coincidevano con quelli avuti quando al raffreddamento sostituivasi il metodo della fusione della neve.

238. Irvine e Crawfford cercarono stabilire, che il calorico specifico de' corpi composti, paragonato a quello degli elementi che li formano, sia minore quando nella combinazione di questi vi è maggiore svolgimento di calorico, ed al contrario. Gli ultimi sperimenti di Petit e Dulong pare che non confrontino con quelli de' due fisici precedenti. Essi han trovato, che le quantità più o meno di calorico che svolgesi nella combinazione de' corpi, non ha alcun rapporto colla capacità degli elementi, ed il più delle volte questa perdita di calorico non è seguita da alcuna diminuzione nella capacità de' composti che ne risultano. Cosi, quantunque nel combinarsi lo zolfo al piombo si vegga svolgere gran quantità di calorico, l'esperienza ha nondimeno provato, che questi elementi hanno la stessa capacità del solfuro di piombo che ne risulta, e così per tanti altri simili esempii.

I corpi che hanno una debole capacità pel calorico si riscaldano e si raffreddano prontamente, ed al contrario que'che hanno una capacità o un calorico specifico più grande si riscaldano e si raffreddano più lentamente.

Si era ammesso che quando un corpo non cambia il suo stato primitivo, il suo calorico specifico anche non cambia per uno stesso numero di gradi; ma Dulong e Petit han dopo mostrato che questa legge non è esatta, perchè il calorico specifico cresce con la temperatura, e solo fa duopo notare, che esso è un poco più piccolo sotto lo zero, che tra zero e 100°, ed un poco più forte a misura che la temperatura avvicinasi a 100°. Noi dunque trarremo da queste osservazioni, che il calorico specifico de'corpi non può determinarsi con l'esperienza in modo assoluto, ma approssimativo, dappoichè una quantità di calorico specifico rimane fissa, ed è quella che si appartiene alla massa del corpo, l'altra è variabile e cambia col volume del corpo, ed è quella che produce i fenomeni di dilatazione e di temperatura.

Osservazioni su i mezzi descritti per determinare le capacità calorifiche de' corpi.

239. Così esposti i diversi metodi coi quali si è pervenuto a determinare le capacità calorifiche de'solidi, de'liquidi e de'fluidi aeriformi, faremo notare, che nel *metodo de'mescugli* possono concorrervi due cagioni di errore, cioè 1, che dovendo il vaso in cui si opera assorbire una parte di calorico, deve il vaso esser fatto con pareti assai sottili, ovvero calcolar nelle sperienze quella parte di calorico per una massa di acqua il cui calorico specifico sia lo stesso che quello della sostanza del vaso; 2 che siccome una parte del calorico si perde per irradiazione, a render l'effetto appena sensibile, fa duopo fare il mescuglio il più prontamente possibile ed in un luogo in cui la temperatura poco differisse da quella del mescuglio.

Il *metodo per raffreddamento*, dopo quanto si è detto su la *conducibilità*, sembra potersi adoperar solo su le sostanze che presentano meno difficoltà alla propagazione del calorico attraverso la loro massa, dappoichè le altre lasciano passare assai irregolarmente il calorico dal loro interno all'inviluppo in cui sono racchiuse.

Ed in ultimo, nel determinare il calorico specifico de' gas, i risultamenti si complicano pe'fenomeni di dilatazione e di pressione, perchè riesce quasi impossibile osservarli per via diretta. Dulong, tenendo in conto una legge di relazione calcolata da Laplace tra il calorico specifico de' gas e la velocità del suono attraverso varii fluidi elastici, pervenne a stabilir la seguente legge: i volumi eguali di tutt'i gas semplici, presi ad una medesima temperatura e pressione atmosferica, quando vengono subitamente dilatati o compressi di una stessa frazione di volume, svolgono o assorbiscono una stessa quantità di calorico, e per conseguenza essi hanno un calorico specifico simile.

Influenza dello stato molecolare nel cambiamento del calorico specifico de' corpi semplici.

240. Il calorico specifico di uno stesso corpo solido liquido o gassoso, può cambiar col suo stato molecolare. Prima delle ricerche di Dulong e Petit, non erasi pensato a stabilire alcun rapporto tra il calorico specifico de'corpi ed il loro stato molecolare. Essi in seguito di un lavoro fatto a fin di determinare il calorico specifico di molti corpi semplici, si avvisarono calcolar quale sarebbe il calorico specifico de'corpi se invece di rapportar ciascuno di essi a 100 parti in peso, si stabilisse per lo numero che rappresenta il peso dell'atomo chimico il più probabile; essi

pervennero a fissar questa legge generale, *che gli atomi semplici hanno tutti lo stesso calorico specifico*. Regnault confermò dopo con l'esperienza questa legge, e ne espose i risultamenti nella tavola seguente:

Corpi semplici.	Calorico specifico.	Peso atomico.	Calorico sp. dell'atomo.
Ferro	11379	339,21	38,597
Zinco	0,09555	403,23	38,526
Rame	0,09515	395,70	37,849
Cadmio	0,6669	699,77	39,502
Argento	0,05701	1351,61	38,527
Piombo	0,03140	1294,50	40,647
Bismuto	0,03084	1330,37	45,034
Antimonio	0,05077	806,45	40,944
Stagno	0,05623	735,29	41,435
Nickel	0,10863	369,68	40,160
Cobalto	0,10696	368,99	38,468
Platino	0,03243	1233,50	39,993
Palladio	0,05927	665,90	39,468
Oro	0,03244	1243,01	40,328
Solfo	0,20259	201,17	40,754
Selenio	0,0837	494,58	40,403
Tellurio	0,05155	801,76	41,594
Iodio	0,05412	789,75	42,703
Mercurio	0,03332	1265,22	42,149
Arsenico	0,08140	470,04	38,261

Rapporto fra il calorico specifico de' corpi composti con quello de' loro elementi.

241. Si son fatte numerose ricerche a fin di trovare i rapporti fra il calorico specifico de' corpi composti e quello de' loro elementi, e pare che quelli sinora ottenuti non han corrisposto allo scopo a cui tendevano le ricerche. Nondimeno Dulong e Petit han potuto dedurre, che il calorico specifico de' gas composti debba esser lo stesso di quello de' gas semplici che contengono, quando gli ultimi non provano alcuna contrazione di volume nel momento che si combinano, perchè al contrario il calorico specifico de'gas composti differisce se vi ha contrazione nell'atto della combinazione; essendo il nuovo calorico specifico del composto lo stesso ne'gruppi che risultano da un medesimo numero di volumi con una contrazione simile.

Regnault ha potuto poi stabilire, 1° che in tutt' i corpi composti che hanno la stessa composizione atomica ed una medesima constituzione chimica, il loro calorico specifico è in ragione inversa de' loro pesi atomici. Così essendo il peso atomico dell'ossido di piombo 1394, quello del calorico specifico di esso è 0,0511 ec; 2° In una stessa serie di composti chimici il *calori-*

co atomico è lo stesso, ritenendo per calorico atomico il calorico specifico moltiplicato pel peso dell'atomo. Così gli ossidi di piombo, di mercurio, e di rame, han dato, dopo l'esperienza, come rappresentante il loro calorico atomico i numeri 71, 34; 70, 94; 70, 39. Ma anche il calorico atomico, de' corpi composti può variar con lo stato molecolare di essi, come quello de'corpi semplici.

CAPITOLO VII.

DELL' OTTICA

Fenomeni generali — Propagazione della luce.

242. Si è dato il nome di *Ottica* (οπτομαι, *optomai*, vedere) a quella parte della fisica che tratta di quanto ha attenenza con lo studio della luce. Essa somministra all'Astronomia, alla Navigazione, alla Prospettiva, ed alla Storia naturale una moltiplicità di fatti attentamente osservati, e di strumenti preziosi senza i quali queste scienze sarebbero ancora nell' infanzia. Tal ramo tanto esteso della fisica, e che pel compiuto suo svolgimento avrebbe duopo del calcolo sublime, non può qui esporsi che in modo puramente elementare.

A facilitazione di quanto l' ottica presenta di maggiore importanza, si è ritenuto da'fisici generalmente la divisione in *Ottica*, *Catottrica*, e *Diottrica*. La prima tratta della *luce diretta*, la seconda della *luce riflessa*, e la terza della *luce rifratta*. I fenomeni di *rifrazione doppia*, quelli di *diffrazione*, d'*interferenza*, di *polarizzazione*, ec. spettando alle tre parti indicate dell'ottica, debbono spiegarsi con le stesse leggi che danno ragione de' fenomeni della luce diretta, riflessa e rifratta. Ed in ultimo, avendo considerato il calorico come la stessa cosa che la luce, egli è naturale che i fenomeni tutti dell' ultima debbono spiegarsi con le stesse teoriche adottate pel primo, che sono quelle che i fisici hanno fissate pe' fenomeni luminosi, e poi applicate ancora a que' del calorico; il perchè daremo la preferenza al sistema delle onde, ritenendo che tutto lo spazio ed i corpi sono supposti ripieni di un *etere* sottilissimo, incapace di opporre il menomo ostacolo agli astri ed alle masse tutte ponderabili che si muovono in esso, essendo sempre l' etere posto in ondulazione da'corpi luminosi, in un modo presso a poco analogo a quello in cui è l' aria da' corpi sonori. E seguendo questo sistema, indicheremo solo qualche volta come gli stessi fenomeni possono essere concepiti nel sistema dell'emissione, ed altri non potersi spiegare se non col *principio delle interferenze* stabilito da Young, il

quale fece richiamar dall'oblio, mercè le cure di Fresnel, quanto erasi già detto da Cartesio, Eugenio ed Eulero su la necessità di doversi ammettere un etere nello spazio e nell'interno de' corpi, e non già una materia reale luminosa che si emanava da corpi luminosi, non essendo questi altra cosa che centri di scuotimento dell' etere, come sono i corpi sonori dell' aria nella propagazione del suono ec.

Ed in prosieguo di quanto si è detto ne' §§ 79, 80, 81, 82, 88, su le varie opinioni finora emesse su l'essenza della causa de'fenomeni tanto svariati, ed in molti casi identici che presentano i così detti fluidi imponderabili, non si omettono, ancora quelle che ora vanno diffondendosi da' più rinomati fisici tanto italiani che di oltremonti, ed eccole: Oggi giorno Berzelius, Humboldt, Faraday, Baudrimont, Grove, Westhein, Riess, Elia Wartman, de la Rive, e Zantedeschi rigettono la dottrina dei fluidi imponderabili. E Berzelius riguardando questi non semplici *forze*, non semplici *forme*, ma principal causa dei movimenti della materia e delle forze che le sono inerenti, gli ha chiamati, dalle voci ειδος (forza), δυναμος (forma), *dinamidi*; onde indicare in tal modo cose che tengono analogia con una forza; perciocchè sebbene nel loro modo di manifestarsi presentino delle differenze, ci autorizzano nondimeno a crederle provenienti da una comun causa. La quale per il pensamento del fisico italiano Fusinieri, dallo stato *ignoto*, in cui vien riposta dall'uno, verrebbe a sussistere in quello di *noto* per l'altro; atteso che quest' ultimo riguarda esser questa causa da lui discoperta, la *forza repulsiva*, di cui i fluidi imponderabili, od agenti della natura, non sono ch'effetti differenti, che in date circostanze prendono passaggio da una modificazione all'altra.

In tanta disparità di opinioni sul modo di concepir la causa de' fenomeni calorifici, luminosi, magnetici ed elettrici, non si è creduto in un opera elementare correr' subito dietro ad esse, ed adottarle prima che la generalità de'fisici non si pronunzii definitivamente contro le teoriche sinora ritenute. Ed avendo nel § 90 detto non essere assolutamente duopo adottare un idea particolare su l'essenza del calorico, e perciò anche su gli altri fluidi imponderabili, proseguiremo a ritener le ipotesi ora più generalmente ricevute da'più eminenti cultori delle scienze fisiche. Le nuove forze dette *dinamidi*, cioè *forme di forze*, potrebbero forse un giorno contribuire a dar meglio ragione di tanti svariati fenomeni che si attengono agl'imponderabili, ma ove venissero adottate, per comprendere que'fenomeni sotto una *causa comune*, farebbe duopo sconvolgere tutto l'ordine sinora seguito, lo che arrecherebbe non poche difficoltà a poterlo eseguire. Or quantunque le predette nuove idee su l' essenza della causa dei fenomeni calorifici, luminosi, magnetici ed elettrici, da lungo

tempo si dicesse dover essere una, modificata solo diversamente da cagioni estrinzeche, nondimeno i sforzi fatti per comprovarlo, se han contribuito a renderle più probabili, pare che ancora presentino non poche difficoltà per poterle ritenere in modo assoluto, riducendo l'essenza di quella causa a mera *forma di forze*, per indicar cose, cioè ignoti, che tengono analogia con una forza, e crederle provenienti da una stessa causa, quantunque nel fatto gli effetti presentassero differenze tanto rimarchevoli. Nel trattato del magnetico e dell'elettrico esporremo meglio le predette nuove idee de'fisici citati.

Sorgenti della luce

243. La principale e maggiore sorgente della luce è il sole. Vengono dopo gli astri e tutt'i corpi in combustione, o portati al grado di arroventamento, ed in ultimo la *fosforescenza*. I corpi solidi divengono tutti luminosi quando in essi la temperatura si alza da 5 a 600 gradi centigradi, ed allora il calorico raggiante assume tutte le qualità de'raggi di luce. Quando poi si è detto su le sorgenti del calorico, ne'casi ove questo manifestasi luminoso, è relativo anche alle sorgenti della luce.

Fosforescenza — La fosforescenza può essere *spontanea* o *naturale*, ed *artifiziale*. È essa la proprietà che hanno alcune sostanze di apparir luminose nel buio quantunque, la loro temperatura fosse eguale a quella dell'ambiente, o appena più alzata. La *fosforescenza naturale* ha origine sempre da un moto molecolare che succede in alcune sostanze organiche nel progresso della loro putrefazione, come nel legno, e sopratutto ne'pesci; ovvero deriva da moti organici, cagionati forse da metamorfosi chimica sotto certe date influenze nervose, come lo presentano alcuni vermi lucenti, le lucciole ec. La *forforescenza artifiziale* può manifestarsi per opera di debole riscaldamento di alcune sostanze, o col tenerle per qualche tempo al sole, portandole dopo nell'oscuro ; o per alcune azioni chimiche, per la persecuzione, pel confricamento, per le scariche elettriche ec.

La più parte de'corpi che possono divenir fosforescenti, acquistano questa proprietà dopo un certo grado di riscaldamento, e per alcuni basta anche il calore della mano. Le osservazioni fatte da Placidus Heinrich sopra molte sostanze già note la più parte sotto lo stesso rapporto della loro fosforescenza, lo condussero a'seguenti risultamenti generali. Tutte le pietre calcari sono fosforescenti per riscaldamento, ma lo sono maggiormente il fluoruro di calcio) spato fluore), sopratutto la varietà che si chiama *clorofana*, la quale riscaldata alla fiamma dell'alcoole, splende di una luce verde smeraldo vivissima; e quando questo minerale si tiene per molto tempo in luo-

go oscuro, diviene luminoso anche col calore della mano. Il marmo bianco del Tirolo, e la calce carbonata cristallizzata danno anche luce quasi così bella come lo spato flore (fluoruro di calcio).

Le varietà di calce solfata (gesso), e le pietre selciose sono fosforescenti, ma le ultime confricate nell'oscurità lo divengono considerevolmente, sopratutto quando si adoperano le pietre focaje (quarzo agata piromaco), il quarzo, le agate, ed anche i silicati artifiziali, come la porcellana, i vetri colorati, ec. E poichè la più parte delle pietre preziose si compongono quasi tutte di silice, come ancora lo strato superficiale della canna da zucchero ec., ne segue che esse sono parimenti fosforescenti per confricamento ec.

244. Wegdwood pubblicò nelle *Philos. Trans.*, vol. 1, p. 1, p. 28, e p. 11, p. 272, un esteso catalogo di sostanze fosforescenti. A' corpi organici si appartengono particolarmente diverse specie di *fulgora* o lucciole, e delle *lampyris*, o vermi lucenti; molti altri insetti, le foladi, le nereidi, le meduse, la carne putrida, il legno infradicito. I pesci marini tutti son fosforescenti dopo la morte, quando comincia la loro putrefazione, perchè se questa è troppo inoltrata, ciò non succede (1); all'apposto i pesci di acqua dolce non rilucono mai. E perciò quella immensa luce che manifestano le acque del mare quando sono solcate da navigli, sopratutto quando sono celeremente agitate dalle ruote de'navigli mossi dal vapore, si è creduto da alcuni poter derivare da molecole esilissime distaccatesi da'pesci morti, il che non si osserva nelle acque de' fiumi ed in quelle de'laghi di acqua dolce; altri credono essere insetti o infusorii marini viventi o morti, che sono luminosi nell'oscuro, come le lucciole, perchè il calore della luce n'è identico; ed in ultimo si è preteso provenir quella luce n'è identico; ed in ultimo si è preteso provenir quella luce da' raggi solari assorbiti da quelle acque. Ma siccome il fenomeno non succede ne'laghi di acqua dolce, la cui profondità è anche assai grande, e che quando il mare è tranquillo, o senza alcuna agitazione, si veggono punti luminosi sotto le acque, come

(1) Il Dottor Hulme opina che questa luce è un principio chimico di qualche corpo che può essere separato, e dopo ritenuto per qualche tempo. Egli trovò che una soluzione fatta con 8 parti di acqua ed 1 di sale inglese è il liquore più convenevole per estrarre da'pesci marini questa luce, ritenerla, e farne crescere anche lo splendore. Il solfato ed il cloruro di sodio (sal marino) sciolti nell'acqua anche convengono per lo stess' oggetto; ma ove le soluzioni fossero assai concentrate, la luce si vedrebbe subito estinta. Hulme operò sul merluzzo e vide che l'acqua di calce, i liquori fermentati, gli acidi anche allungati con molt'acqua, e le soluzioni alcaline spegnevano subito questa luce spontanea, e lo stesso faceva l'acqua bollente. L'acqua agghiacciata sospendeva la manifestazione della luce, ma dopo sciolta, si vedeva questa apparir come prima. *Philos. Trans*, del 1790.

ancora, prendendo colla mano una porzione di acqua di mare e facendola cadere, essa vi lascia più punti luminosi, come ho più volte osservato nelle acque del Baltico, della Manica, e sopratutto in quelle del Mediterraneo, pare che le prime opinioni divengono più probabili (1).

Wegdwood dopo una serie di sperienze confirmò ancora, che quasi tutt'i minerali e sali o altri solidi artifiziali divengono fosforescenti per calore o per confricamento, ma il migliore mezzo da lui sperimentato si fu quello di adoperarli in polvere, facendoli cadere poco per volta sopra una lamina di rame rovente, operando in luogo oscuro. Il fenomeno succede per molti anche su i carboni accesi, sopratutto con le varietà di calce fluata, e fra queste quella di Derbyshire; con lo spato fluore rosso di Sassonia, con alcuni fosfati, diamanti, col rubino ec.; solo in alcuni la durata della luce è istantanea, ed in altri si mantiene per più minuti. In generale ha potuto ancora osservarsi, che i corpi meglio conduttori dell'elettrico o non divengono fosforescenti, o quest'effetto è assai fugace; al contrario succede de' corpi conduttori, perchè in questi la fosforescenza è più durevole, ed ove han perduta siffatta proprietà per riscaldamento troppo forte, la riprendono per mezzo delle scariche elettriche.

245. Nel diamante, la fosforescenza è assai rimarchevole per lo splendore della luce sotto l'influenza del calore, ed essa varia dalla temperatura di 60 a 90 gradi centigradi. L'effetto dipende ancora dalle sostanze che colorano alcuni diamanti le quali ne aumentano la fosforescenza e fanno variare il colore della luce. Le pietre che brillano più dopo il diamante sono: il topazio di Sassonia, l'ametista, l'adularia e qualche diaspro; lo smeraldo, il giacinto ec. I vetri colorati danno più luce che i vetri bianchi,

(1) Le osservazioni fatte da Quoy e Gaimard, sembrerebbero provare che gli avanzi de'corpi organizzati sono effettivamente una delle cagioni della fosforescenza del mare. Trovandosi essi nella rada della piccola isola di Rawak, posta sotto l'equatore, videro una sera su l'acqua delle linee di un bianco splendente, e traversandole nella loro barca vollero prenderne una parte, ma quel chiarore poco dopo disparve tra le dita. In una notte assai calma, videro prossimamente al loro naviglio più zone simili, ed esaminatele con più accorgimento, trovarono che erano prodotte da zoofiti di una estrema piccolezza, e che racchiudevano un principio di fosforescenza suscettivo di espansione, che nuotando con celerità ed a zig-zaga lasciavano sul mare quelle zone luminose. Avendo presi due di questi zoofiti, postili in un bocale pieno d'acqua, essi resero subito questa tutta luminosa. Ed in ultimo provarono, che il calore di quelle regioni era una delle cagioni dominanti della facoltà fosforica di quelli zoofiti.

Bequerel e Brechet han confirmate queste osservazioni nelle acque della Brenda, a qualche miglio da Venezia, ed una pruova che queste materie organizzate debbono trovarsi in uno stato di scomposizione che precede la putrefazione si è, che se quelle acque fosforescenti si tengono chiuse in un vaso per qualche ora, esse perdono le proprietà luminose.

i ciottoli silicei e le sabble quarzose, meglio ancora che i vetri colorati ec. Fra i composti metallici, quelli che manifestano una luce per più secondi sono: la malachite, il solfato di rame, molti minerali di ferro, l'ossido di zinco, ed alcuni minerali di antimonio, di cobalto, e di manganese. Ma un'esposizione più estesa che si ha su la fosforescenza de'minerali la dobbiamo a Brewster, inserita nell' *Edimburg Philos. Journ.* Vol. 1. Egli non adoperò queste sostanze in polvere, sebbene in picciolissime masse che riscaldava sopra una lamina di ferro, ma più sovente le metteva nel fondo di una canna di pistola, riscaldato al rosso, e così ne esaminava meglio il colore della luce. In siffatto modo Brewster ottenne la fosforescenza da un gran numero di silicati e di molti minerali metallici, esponendoli ora sopra la lamina di ferro, ora in fondo della canna di pistola (1).

Si considera ancora come fosforescenza la luce svolta dall'aria nel fucile pneumatico, quella che manifesta la calce quando si spegne con una data quantità di acqua; la luce che manifestasi quando si agita il mercurio nel vuoto torricelliano; la luce che dà nell'oscuro il fosforo ec. Ma quella prodotta da quest'ultimo, proviene da una lenta combustione, come si crede derivar quella ancora de'pesci, del legno ec. mentre l'altra che osservasi da minerali, dalla calce, nel vuoto ec. deve avere altra cagione, non essendovi alterazione nella chimica composizione delle sostanze adoperate.

246. Roze ha fatto uno studio profondo su la fosforescenza di molti corpi cristallizzati, e su le soluzioni di alcuni sali nell'atto della loro cristallizzazione. Era già noto, che il clivaggio (v. vol. I di quest' opera, § 123) delle sostanze cristallizzate non conduttrici dell'elettricità era anche cagione di promuovere la fosforescenza, dovuta alla momentanea scomposizione e ricomposizione delle due elettricità rese libere nell'atto della distruzione dell'attrazione molecolare, che teneva unite le lamine distaccate, per opera del clivaggio. Il che fece supporre a Roze, che nell' atto che i cristalli si formano, dovendo esservi soprapposizione di

(1) Brewster ebbe luce *verde* tanto dal fluoruro di calcio giallo che violetto; *azzurra* dalla varietà colore di porpora, ed azzurriccia dallo stesso minerale, e dalla grammatite di Cornovailles, dal topazio di Aberdeenshire, dalla pelalite, dalla telesia verde, dalla cianite, e dal cloruro di argento; *gialla*, o *giallo rossiccia* dallo spato calcare, dalla calce fosfata rossiccia, dall' arragonite, dalla grammatite di Grentil, dall'armotomo, dal topazio del Brasile, dalla tremolite dall'anatase e dallo spato in tavole; *bianca* dal carbonato di barite, dall'arseniato di piombo, dallo sfeno giallo, dalla mica verdiccia, e dallo spato fluore in sabbia bianca; *rossa gialliccia* dalla calcare del nord dell'Irlanda ec. Diedero luce assai debole la calce solfata, lo spato pesante, il lapis lazzuli, lo spodumeno, la titanite, la rutile, e la calamina; e luce assai chiara la datolite trasparente, il corundo bruno, l'arseniato di piombo, lo sfeno o titano sfeno, l'asbesto, ec. *Edimbourg. Philos.* Journ. v. 1.

lamine, gli effetti dovevano essere analoghi, ed in questo caso la luce fosforica mostrasi scintillante. E di fatti, quando si opera la cristallizzazione del cloruro di sodio nell'oscuro, vi ha scintillazione ed effetti di fosforescenza, ma sopratutto l'acido arsenioso emette più luce nel cristallizzarsi. Così quando Roze sciolse 2 a 3 gramme di acido arsenioso vetroso e trasparente in 45 gram. di acido cloridrico non fumante, allungato con 15 gram. di acqua, facendo bollire il miscuglio per 15 minuti, lasciando raffreddar la soluzione il più lentamente possibile col diminuir gradatamente la fiamma della lampada, egli osservò nell'oscuro che la cristallizzazione era accompagnata da forte emissione di luce. La formazione di ciascun cristallo dava luogo ad una scintilla, e quando agitò la soluzione, formandosene più che col riposo, l'effetto luminoso aumentava maggiormente. Operando in siffatto modo con 30 a 40 gram. di acido arsenioso, la luce fu si viva nell'atto dell'agitazione, che la camera si vide abbastanza illuminata. Il fenomeno durò qualche giorno, diminuendo solo a poco a poco l'intensità della luce sino che, cessata la formazione de'cristalli, si vide spenta del tutto. Roze ottenne lo stesso effetto sciogliendo l'acido arsenioso nell'acido acetico, nitrico, solforico, e nell' acqua regia, ma la luce era più debole. Operando dopo con l'acido arsenioso opaco, l'effetto era appena sensibile.

Il solfato di potassa produce anche presso a poco gli stessi effetti, ma quando contiene alquanto solfato di soda, il quale può variare nella proporzione di $1\frac{1}{2}$ sopra 2 a 3 atomi di solfato di potassa. Lo stesso succede quando l'acido solforico è sostituito da altr'acido isomorfo, come il cromico ed il selenico; e quando il sale è fuso e si scioglie a saturazione nell' acqua bollente, vi ha parimenti produzione di luce.

Altri mescugli di due solfati alcalini fusi, manifestarono anche sensibilissima fosforescenza. Così fra questi, quelli fatti con 11 parti di solfato di potassa e 9 di solfato di soda ; 2 di solfato di potassa ed 1 di cloruro di sodio; 8 del primo e 3 di carbonato di soda; ovvero adoperando pesi atomici eguali di solfato di soda e di cromato o seleniato di potassa, dopo averli fusi, quando si sciolsero a saturazione nell'acqua bollente, diedero sempre la fosforescenza a misura che raffreddandosi la soluzione, la cristallizzazione succedeva. Daquesto fatto, e da altri presso a poco analoghi, ne dedusse Roze, che tal fenomeno era dovuto ad un cambiamento isomero che il sale sperimenta nell'atto che si cristallizza.

I fatti osservati da Roze provano che la fosforescenza può essere per *emanazione* di luce, e per *scintillazione*. La prima manifesta una luce fugace e più o meno colorata, la seconda una serie di scintille che scappano più o meno celeremente dal corpo. Le terre ed i composti alcalini terrosi offrono esempii di emis-

sioni luminose; i metalli in limatura fina, i loro ossidi, i sali, ed in generale tutte le sostanze combustibili danno luce scintillante.

247. Il cloruro di calcio cristallizzato, come osservò Homberg, produce ancora effetti di fosforescenza non meno rimarchevoli de'precedenti, allorchè fatto fonderlo completamente nella sua acqua di cristallizzazione, si porti il crogiuolo nell'oscuro e si lasci raffreddare gradatamente. I *fosforo di Homberg*, che ne risulta, dà luce fosforica che non solo dura piu minuti, ma essa presenta distintamente larghe scintille in forma di lampi, accompagnati da schioppettio, dovuto probabilmente alla contrazione pronta della massa, o alla sua cristallizzazione. Lo stesso osservasi quando nella massa così fusa vi s'immerge un cilindro di vetro, perchè quella che vi si concreta d'intorno, produce in quella parte presso a poco lo stesso fenomeno di prima. Che se poi la massa fusa dopo raffreddata, e che la fosforescenza non più si manifesta, si percuota con uno strumento acuminato, ovvero si raschi con questo solamente la superficie, si avranno ancora belle scintille, e queste si manifestano parimente quando quella massa si tritura in un mortaio ec. Ma il colore e l'intensità di queste scintille sembra variar col variare il grado di forza meccanica adoperata. Così quando si raschia leggiermente, le scintille sono più vive, se operasi con più forza, sono gialle, ed un piccolo colpo di martello dà una scintilla colore arancio. L'effetto ha maggiormente luogo col cloruro che ha assorbito alquant'acqua quando si è tenuto all'aria, e poi si è fuso un'altra volta.

248. Quando si fan passare le scariche elettriche su la superficie di alcune sostanze, producesi anche fosforescenza, ma di poca durata. Il solfato di barite dà così luce verde chiaro; nel carbonato di barite la luce è simile, ma meno brillante; l'acetato di potassa dà anche luce verde assai debole, e nell'acido succinico la luce è verde e più durevole. Lo zuccaro in pani ed il solfato di calce danno anche simil luce; il cristallo di rocca dà luce dapprima rossa e poi bianca; il quarzo, una luce bianca, e tanto il borace che l'acido borico danno, il primo luce verde, il secondo verde chiaro.

La maggiore analogia che Dessaignes osservò tra la fosforescenza e l'elettricità, è l'influenza che hanno le prominenze puntute e le superficie scabrose su questo fenomeno. Egli trovò che i corpi con superficie scabra cominciano facilmente a risplendere dopo le scariche elettriche meglio che gli stessi corpi con superficie polita. Così ancora molti corpi che si pestano in mortaio di metallo, che è conduttore dell'elettrico, perdono la proprietà di divenir fosforescenti, mentre quando si pestano in mortajo di vetro, che è coibente, essi diventano dopo anzi più splendenti.

Egli dedusse da siffatte osservazioni, che doveva esservi molta analogia tra la fosforescenza e la elettricità.

Dessaignes trovò ancora, che il grado di chiarezza che sparge un corpo dopo averlo esposto al sole, sta in ragione inversa della sua umidità. I corpi che perdono la proprietà di essere fosforescenti, la riprendono col mezzo di una o più scariche elettriche. Dalle osservazioni fatte da Heinrich, intorno alla fosforescenza sviluppata col mezzo dell' elettricità rilevasi, che questa ha molta analogia con quella prodotta per insolazione.

249. *Fosfori solari*. Si son così detti alcuni composti artifiziali i quali tenuti all'azione de'raggi solari, o sottoposti ad una scarica istantanea di una batteria elettrica, rilucono dopo nell'oscuro. Fra questi il *fosforo di Canton*, ed il *fosforo o pietra di Bologna* meritano di esser preferitl. Il primo si ha facendo un miscuglio di 3 parti di ostriche calcinate ed 1 di fiori di solfo, mettendolo dopo ben compresso in un crogiuolo che si tiene per mezz'ora al grado di arroventamento. Ma si preferisce farlo disponendo a strati le scaglie di ostriche e lo zolfo, per averlo in masse più solide e non in polvere, ed allora è di un effetto maggiore.

La *pietra* o *fosforo di Bologna* è lo spato pesante, (solfato di barite. Lemery rapporta, che un calzolajo, chiamato Vincenzo Casciarolo, scoprì in questa pietra la proprietà di divenire fosforescente quando, ridotta in polvere ed impastata con mucillagine di gomma comune, si divide dopo la massa in pezzetti di $\frac{1}{4}$ di pollice di spessezza e si espongono ad un calore assai elevato. La sostanza otteuuta, esposta a'raggi solari, diviene luminosa nell'oscuro come il fosforo di Canton. Tanto l'uno che l'altro composto debbono conservarsi in bocce ben chiuse.

250. Così esposta la fosforescenza in un modo generale, fa duopo conoscerla sotto il rapporto de' colori proprii che le diverse sostanze descritte manifestano secondo la loro particolar natura o chimica composizione, non già dietro gli svolgimenti successivi delle tinte che hanno quelle sostanze, ma dal colore che è più permanente e preciso. Esse in generale possono così riunirsi: Alcuni marmi ed il succino danno luce gialla; le varietà di spato fluore luce violetta, verde, azzurra; il granato orientale, lo zuccaro di latte la danno rossa, la dolomite, l' arragonite e qualche diamante, di un bianco splendente; l'armotomo, di colore giallo verdastro. Ne' carbonati calcari i colori gialli ed azzurri sono più frequenti ed il verde è più raro. Gli acidi, nelle loro combinazioni con le basi sembra che hanno opera ne'colori della luce. Così nelle combinazioni dell' acido fluoridrico, i colori dominanti sono, il giallo ed il verde; in quelle dell'acido solforico, il giallo ed il turchino; in quelle dell' acido arsenico, il verdastro ed il turchino; nelle combinazioni dell'acido silicico il

giallo ed il verde, e ne'silicati alluminosi, il giallo ed il bianco. La calce, che diviene assai luminosa col calore, conserva questa proprietà in tutte le sue combinazioni più che in quelle della silice, ma i solfati calcari sono meno fosforescenti de' carbonati.

In composti minerali più fosforescenti, sono: il topazio di Sassonia, l'ametista, il diaspro, lo smeraldo, lo zircone. I vetri colorati, si è detto che splendono più degli scolorati; le sostanze puramente argillose occupano l' ultimo posto.

251. Dal complesso di tante osservazioni fatte da'fisici e chimici su la fosforescenza, ed in ispecialità da quelle di Homberg, (1) Beccaria (2) Grottus (3) Wegdwood (4), Dessaigny (5) Heinrich (6), Dufay, Hulme (7); de Sausurre ec. possiamo in ultimo dedurre, che questo fenomeno può prodursi per *confricamento*, per *riscaldamento*, per *insolazione*, per le *azioni meccaniche* pel *clivaggio*, per le *azioni chimiche*, per la *cristallizzazione*, per *passaggio di stato* de' corpi, per le *scariche elettriche*, per la *lenta combustione* (come succede nel fosforo); per alcune combinazioni che si son denominate *fosfori artifiziali*, ed in ultimo per effetto della *volontà* presso gli animali delle classi inferiori, i quali posseggono questa proprietà ad alto grado, e solo manca in que' delle classi superiori. Ma quale è la cagione della fosforescenza? Nel sistema dell' emissione si diceva provenire essa dalla *luce latente*, la quale svolgevasi per cambiamento di densità ne' corpi. Ma i fatti si numerosi esposti, e particolarmente quelli che riguardano la fosforescenza prodotta sotto l'influenza della elettricità, come ancora, che i corpi conduttori di questo fluido non acquistano alcuna fosforescenza sensibile sotto le scariche elettriche, egualmente ove si riscaldino, ed al contrario i conduttori la manifestano, ed anche quando l'han perduta la riprendono con le scariche elettriche, fa ora trovar poco soddisfacente la semplice ammissione della luce latente. Or poichè la fosforescenza, dopo i tanti fatti esposti, riconosce per cagion prima un moto molecolare ne'corpi che la manifestano, essendo la luce ed il calorico, nel sistema dell' ondulazione, il prodotto delle vibrazioni dell'etere che stà fuora i corpi, e ne'loro spazii intermolecolari, la luce della fosforescenza deve provenire dallo stesso etere posto in moto dalle molecole elastiche della materia

(1) *Mem. de l'Accadem. Roy des Science a Paris*, *an.* 1678, T. II, p. 182; an. 1693, p. 270.

(2) *Commentarii duo, de phosphoris naturalibus*, *Graecia* 1768 *ex Actis Bonon. T.* II, P. II, pag. 136; III, p. 498.

(3) *Journal fur Chemie und Physak*, T. XIV. p. 133.

(4) *Philos. Transact.* T. LXXXII, p. 28. P. II, p. 272.

(5) *Journ. de Phys Jouillet* 1809.

(6) *Die Phosphoresceuer der Korper ec. erste, zweite nnde dritte Abhandlung. Nuremberg* 1811, e 1815.

(7) *Philos. Transact.* 1790.

ponderabile. Così la luce che manifesta il mercurio agitato nel vuoto, in cui si è detto esservi ancora l'etere, può più facilmente concepirsi nel sistema delle onde eteree che in quello dell'emissione, mentre se essa provenisse da luce reale interposta o simulata, non vi sarebbe ragione perchè non dovrebbe manifestarsi quando il vuoto è imperfetto nel barometro, in altri o apparecchi simili, laddove in tutti gli altri casi esposti, la fosforescenza succede sempre sotto l'influenza dell'aria. Dà ancora appoggio a questa ipotesi la non fosforescenza che presentano i pesci quando la putrefazione in essi è assai avanzata, chè se poi disvelasi nel cominciamento, i moti molecolari della materia elastica ponderabile sono allora più sensibili, e col compiersi la putrefazione quelle molecole debbono prendere uno stato di quasi equilibrio.

L'altro fatto osservato da Dufay, quello cioè che avendo egli esposto un diamante al sole, covertolo con cera nera e portato nell'oscuro esso brillava quando si toglieva la cera; come altresì quello che manifesta similmente il fosforo di Canton, di Bologna ec. tenuti ancora alla luce solare, che sembrava anche potersi spiegar solo col sistema dell'emissione, è al contrario un'altra pruova manifesta del principio dell'ondulazione, perchè l'effetto della luce solare essendo quello di alterare la posizione di equilibrio delle molecole di que'corpi, questo moto sin che dura, e ad un certo grado, permette di far veder luminosi que' corpi nell'oscuro; e di fatti, se essi lasciansi per qualche tempo in quiete, non più manifestano alcuna fosforescenza, perchè le molecole agitate son tornate nella posizione di equilibrio di prima. Or come in pari circostanze, l'equilibrio delle elettricità che sono associate alle particelle de' corpi è egualmente alterato per opera delle azioni chimiche, o per quelle che lo stesso fluido elettrico può indurre ne' corpi, deve di conseguenza alterarsi l'equilibrio delle loro molecole ponderabili, e la ricomposizione delle elettricità, ove succede più pronta o più lenta, deve produrre la luce negli stessi rapporti, il che dà ragione della fosforescenza fugace e di quella più stabile. E di fatti i migliori conduttori dando luogo a questa ricomposizione immediatamente, gli effetti luminosi non sono visibili, e perciò que'corpi non sono fosforescenti; dappoichè la luce che dovrebbe svolgersi, operando su le elettricità associate alle particelle de'corpi, può alterar la loro posizione di equilibrio, e da siffatto dislocamento risultarne perturbazione nella primitiva disposizione molecolare del corpo, come succede quando si espongono alla scarica della luce elettrica i cristalli di spato fluore non fosforescenti, i quali dopo si colorano e divengono luminosi per l'azione del calore. E siccome la luce elettrica che opera a contatto può modificare il modo di aggregazione molecolare ne' corpi sino al punto da renderli

dopo fosforescenti, ciò non deve far credere probabile che la elettricità operi direttamente su le stesse particelle, o che essa divenga letente, come dicevasi della luce nel sistema dell'emissione, ma invece dev'essa operar su le elettricità associate alle molecole della materia ponderabile, e condurle ad una nuova disposizione particolare e tale, da renderle dopo capaci a produrre la fosforescenza per calore.

Ed in ultimo, la elettricità ha opera ancora nella fosforescenza prodotta per lento, o subito aumento di temperatura. Nel primo caso lo svolgimento dell'elettricità e quello della luce è assai debole, e nel secondo è più rapido, perchè la maggiore quantità di elettrico svolto, crescendo di tensione, può aver la forza necessaria per dare maggior luce.

La elettricità dunque, avendo opera di agente generale, e potendo svolgersi in tutte le azioni meccaniche e chimiche, come ancora potendo essa assumere e modificare l'azione degli altri fluidi imponderabili, ed operare ancora come forza universale, i fenomeni della fosforescenza possono riconoscer per cagion prima l'opera dell'elettrico, e ristringere i legami che esistono tra tutti gli agenti imponderabili e le forze naturali, e farne derivar gli effetti tutti da una sola e stessa causa, differentemente modificata, come si è detto al § 242, opinione ora emessa e ritenuta da' più valenti cultori delle scienze fisiche.

Ottica o Luce diretta.

252. I primi fatti che ci presenta la luce, riguardano la sua propagazione successiva, come il calorico, in linea retta, ed in raggi che divergono sempre più a misura che si allontanano dal punto luminoso, o dal centro dello scuotimento dell'etere che lo circonda, diminuendo la sua intensità prossimamente nella ragione inversa de' quadrati de'raggi, o del quadrato della distanza al punto luminoso.

Si prova che la luce si propaga in linea retta, osservando essere impossibile vedere un corpo luminoso quando su la retta che passa pel nostro occhio ed il corpo s'interponga un ostacolo che intercetti il cammino de' raggi luminosi. Lo stesso avviene quando si fa entrare la luce del sole per un foro alquanto grande praticato su l'imposta che chiude una camera, perchè si vedrà che il fascio luminoso si avanza sempre in linea retta.

Il cammino rettilineo della luce permette determinare esattamente la posizione di un oggetto rischiarato, come ancora esso ci spiega perchè il cacciatore situa il fucile nella direzione dell'uccello che vuol colpire, sapendosi per l'ordinaria pratica, che il fascetto luminoso che glie ne apporta la visione, lo rende sicuro dover l'uccello, o altro oggetto rischiarato, trovarsi nella stessa

retta del fucile ec. Quanto alla divergenza de' raggi dal punto luminoso, per provarla basta considerare una candela nel centro di un cerchio e correrne successivamente tutte le parti della sua circonferenza, per convincersi che la candela si vedrà sempre e con la stessa intensità di luce in ogni parte di quel cerchio. Così ancora quando presentasi a' raggi solari un cartone che ha un piccol foro circolare di qualche millimetro di diametro, si vedrà passar dietro un fascio luminoso il quale sempre più allargasi a misura che se ne discosta. Che se poi l' immagine luminosa si riceva sopra un piano, col quale tagliasi successivamente a diverse distanze quel fascio di luce, si avranno immagini circolari o elittiche le quali aumenteranno in grandezza, ma diminuiranno in chiarezza a misura che più si allontana il piano dietro il cartone da cui entra il fascio di luce; il che prova che questo ha la forma di un cono troncato, il cui vertice o la più piccola base trovasi prossimamente al foro indicato, e per conseguenza i raggi luminosi debbono uscirne sempre più divergenti. Che se poi presentasi a' raggi solari un cartone che ha piccol numero di fori fatti con un ago ordinario, ed a poca distanza l'uno dall'altro, ripetendo lo sperimento come prima, si avranno sul piano opaco postovi dietro altrettante immagini luminose distinte per quanti sono i fori sul cartone; ma a misura che il piano se ne discosta, si vedranno quelle immagini farsi più grandi; ed ove più si allontani il piano, si arriverà in un punto in cui si vedranno confondere in una sola di figura presso a poco circolare. Ed in ultimo, se adoperasi un cartone che abbia un foro di figura qualunque, come ed esempio, triangolare, ec. l'immagine luminosa, ricevuta sul piano posto a poco distanza dietro il foro, avrà la stessa figura; ma quando il piano se ne discosta abbastanza, l' immagine finisce col farsi anche circolare; il che prova che la piramide luminosa che si avanza dietro il cartone, si compone di tanti piccoli fascetti conici i quali, sul piano posto a poca distanza, formano tanti picciolissimi cerchi che disegnano nettamente la figura del foro, ma sopra il piano portato più indietro, facendosi que' cerchi più grandi e tremuli, s' intersecano al punto da comporre un immagine di figura circolare.

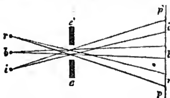
La divergenza de' raggi lucidi attraverso piccoli fori spiega il fenomeno che osservasi nelle strade fiancheggiate da alberi fronzuti, quando i raggi solari passano attraverso gli spazii che sono tra le foglie, facendo veder sul suolo tanti cerchi luminosi quanti sono quegli spazii pe' quali passano i raggi solari, i quali saranno rotondi, se vi cadono perpendicolarmente, ed elittici o allungati quando vi cadono obliquamente.

La forma conica de' fasci di luce si avvera solo a certe date distanze, perchè ove queste aumentano di troppo, come succede di que' che ci vengono dagli astri, la divergenza si fa tanto

debole da poterli considerare come quasi esattamente paralleli fra loro.

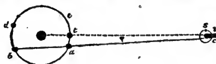
La riunione de' raggi luminosi porta il nome comune di *pennello* se è molto piccola, e si dice *fascio* quando è assai considerevole. I corpi su i quali può imbattersi la luce si dicono *opachi*, quando arrestano il passaggio de' raggi, e fra questi i metalli godono di una opacità meglio che tutti gli altri corpi; *trasparenti*, o *diafani*, se danno libero passaggio a' raggi, come il cristallo, l'acqua ec.; e *traslucidi* quando vi passano debolmente, come sono la carta, il vetro usato allo smeriglio, il marmo, il legno, ec. In generale, ad eccezione de' metalli, tutt'i corpi sono più o meno traslucidi, quando vengono ridotti in lamine più o meno sottili, e negli angoli acuti, ed opachi quando questi hanno una data spessezza. Così quando si frappone un foglio di carta fra l'occhio ed un fascetto di luce, questo vi passa attraverso; ma se si uniscono più doppii della stessa carta, ciò non più succede, e la carta che prima era traslucida diviene opaca ec.

253. L'immagine che formasi sopra un diaframma opaco, posto avanti un corpo luminoso, è formata dalla unione di più fascetti lucidi che vi arrivano in più direzioni, ed in alcune circostanze essi soggiacciono ad un'alterazione più o meno sensibile. Così i raggi *r b i*, segnati nella figura, che escono pe' tre fori praticati in una sottile lamina metallica, quando traversano il diaframma *e e'*, cadendo sul piano *p p'*, postovi a qualche distanza, si vedrà che il fascetto *r* è formato di luce rossa, quello *b* di luce bianca, e l'altro *i* di luce gialla. Questi tre coni luminosi assai allungati, passando pel diaframma *e e'* s'intersecano scambievolmente, senza mutar forma e direzione, e pervenuti su l'ostacolo *p p'* vi dipingono le immagini *i' b' r'* capovolte, cioè gialla, bianca, e rossa; dappoichè supposta l'immagine *r i* dritta, dovendo i raggi *r i*, portarsi in *i' r'* dovrà il punto *r* che stava in alto trovarsi in basso nel punto *r'*, ed il punto *i* che era in basso, trovarsi in alto nel punto *i'*.



254. *Velocità* — La velocità della luce fu prima esaminata da Newton, ma le ricerche di lui non ebbero alcun successo. Le osservazioni astronomiche posteriori offrirono rigorosi mezzi per misurar questa velocità con grande precisione. La prima applicazione ne fu fatta da Cassini nel movimento del primo satellite di Giove, ma Rœmer n'ebbe dopo l'onore di riprodurla e di mostrare una delle più grandi verità dell'ottica. Si sa che

questo pianeta è accompagnato da quattro satelliti, e che esso manda nello spazio un'ombra conica, la cui base sta su la parte illuminata. Così, come vedesi nella figura, la terra *t*, che percorre in un anno la sua orbita intorno al sole, che sta in mezzo, permette vedersi Giove da tutt' i suoi punti, col suo satellite che vedesi in *s*. Questo nel suo movimento entra ed esce alternativamente nell' ombra del pianeta, e fra due immersioni consecutive vi ha un intervallo di ore 42 ½ in *c*, o tra due immersioni consecutive in *v*, e perciò avendo osservato una di esse, può calcolarsi esattamente a quale ora dovrà farsi l'altra. Così, se fatta la prima osservazione dal punto *a*, sen faccia una seconda quando la terra *t* è arrivata al punto *b*, si troverà che la *emersione* (l' uscita) del satellite *s* è ritardata; e se al contrario l'osservazione si è fatta quando la terra era in *d*, l' *immersione* (l' entrata) osservata più tarda in *c*, e si troverà eccedente nel calcolo. Questa differenza proviene da che la luce che apparisce in *c* mette più tempo per arrivare in *b* che in *a*, e che fa duopo di minor tempo per arrivare da *v* in *e* che da *v* in *d*. Or conosciuta la distanza da *a* in *b*, e quella da *d* in *e*, riesce facile calcolare la velocità della luce.



Rœmer potè da questi ecclissi del primo satellite di Giove trarre il mezzo per determinar la velocità della luce. Se essi succedono quando Giove è vicino alla *congiunzione*, ritardano di minuti 16 e secondi 26, 6 sopra quelli che avvengono quando il pianeta vi è in *opposizione* (1). Or siccome Giove trovasi più vicino a noi in tutta la larghezza dell' orbita della terra, quando è in opposizione che quando è in congiunzione, deve la differenza ripetersi al tempo che impiegano i raggi di luce a percorrere il diametro dell'orbita terrestre, cioè la distanza circa 190,000,000 di miglia (circa 70,000,000 di leghe), e perciò dopo queste considerazioni, la luce deve avere una velocità di 190,000 miglia (70 leghe) per secondo.

Consideriamo ora l'osservatore posto su la terra tra Giove ed il sole. In questo caso passeranno ore 42 ½ tra due ecclissi successivi; ma siccome il movimento della terra intorno al Sole è più rapido di quello di Giove, dovranno tra poco il sole, la terra e Giove non più trovarsi su la stessa retta; e perciò, in una

(1) Gli astronomi dicono che un pianeta è in *congiunzione* quando è su lo stesso piano di longitudine e dalla stessa parte in cui trovasi il sole; ed in *opposizione* allorchè si guarda dalla parte opposta. Nel primo caso il sole trovasi tra la terra ed il pianeta, nel secondo è la terra che sta tra il pianeta ed il sole.

posizione assai lontana dalla prima, l'osservatore vedrà uscire il primo satellite di Giove dal cono d'ombra a capo di un certo numero di volte, 42 ore e 30 secondi, se la velocità della luce fosse infinita; ma poichè questa è finita, deve il satellite tanto più tardare quanto più la differenza si fa grande. Or se la terra fosse all' estremità del diametro della sua orbita, tal ritardo sarebbe di minuti 16 e 26 secondi; e poichè questo diametro è di 68 a 69 milioni di leghe, ne segue che la luce deve avere una velocità di 310,989,000 metri per secondo (70,000 leghe circa). Questa velocità poi è costante, qualunque si fosse la distanza della terra da Giove; e perciò, lo spazio percorso in un secondo, sarà sempre quello così calcolato, cioè 70,000 leghe (1).

La celerità dunque del cammino de'raggi luminosi è così grande, che la terra la quale si muove con una velocità di 19 miglia (7 leghe circa) per secondo, metterebbe due mesi per traversar quella distanza che un raggio di luce percorre in 8 soli minuti, e 13 secondi per venire dal sole a noi. Dopo questi dati si è potuto ancora conoscere, che essa mette 1 ora e 18 minuti e 23'' per venirci da Saturno, e che quella delle stelle più prossime a noi, cioè le più grandi che vediamo nella volta del cielo, la cui distanza non è meno di 200,000 volte la distanza del sole alla terra, deve perciò essa mettervi 200,000 volte 8', 13'', il che dà 1141 giorni, cioè tre anni, e 45 giorni; ma ve ne ha infinite altre che vediamo così piccole, e per conseguenza sono così lontane, che la loro luce non può giungerci che dopo qualche migliaio di secoli, lo che prova la quasi incomprensibile distanza a cui quegli astri debbono trovarsi dirimpetto al pianeta in cui noi siamo.

E per farci altrimenti un'idea più semplice di questa immensa velocità della luce, il calcolo dimostra, che una palla da cannone che conservasse la stessa velocità che ha quando esce da quest'arma, metterebbe più di 17 anni per giungere dalla terra al sole, ed in conseguenza essa in questo sì lungo intervallo avrebbe percorsa la stessa distanza che la luce percorre in soli 8 minuti e 13 secondi per venire dal sole alla terra.

Intensità della luce–Fotometria.

255. La parte dell' ottica che versa su la intensità della luce chiamasi *Fotometria*, e gli strumenti coi quali si è cercato poterla determinare si son detti *fotometri*. Esamineremo prima la legge del decrescimento dell' intensità della luce, e poi mostreremo come la fotometria sia ancora imperfetta nella parte sperimenta-

(1) Alcuni astronomi e fisici, portano questa distanza ad 80,000 leghe circa.

le, e poco esatti gli strumenti che si sono adoperati per misurar la intensità della luce.

La legge del decrescimento della intensità della luce, sopra un corpo, a misura che il centro luminoso che lo rischiara più se ne allontana, cioè la *legge della ragione inversa del quadrato della distanza* al corpo luminoso, può provarsi con più modi. Sapendosi che la luce esce in fascetti divergenti, consideriamone un piccol cono che venga tagliato successivamente a distanze differenti da un piano opaco, posto perpendicolarmente all'asse del cono luminoso. In questo caso avverrà, che a misura che il piano si fa muovere parallelamente a se stesso, dalla sommità alla base del cono, esso intercetterà le immagini circolari luminose, le cui superficie cresceranno in grandezza come i quadrati delle distanze alla sommità del cono. Ora il grado di chiarezza che lo stesso numero di raggi spande sopra que' piani differenti in superficie, è evidentemente in ragione inversa delle stesse superficie illuminate, e perciò in ragione inversa de'quadrati delle distanze dal corpo luminoso; o che la intensità della luce diminuisce come il quadrato della distanza aumenta. Così ad una distanza 1, la intensità della luce sarà 1; ad una distanza 2 sarà di $\frac{1}{4}$; ad una distanza 3, di $\frac{1}{9}$; ad una distanza 4, di $\frac{1}{16}$ ec.

Può parimenti provarsi la stessa legge paragonando l' intensità di due luci nello stesso tempo, situando un corpo opaco avanti un cartone bianco rischiarato dalle due luci. In questo caso ciascuna di esse manda sul cartone l' ombra del corpo opaco che gli è in mezzo, e ciascun'ombra è rischiarata dall'altra luce; si cambia allora le distanze relative delle due luci sino che le ombre abbiano raggiunta la medesima tinta, e si troverà che le intensità delle due luci saranno in ragione inversa de' quadrati delle distanze alle ombre che esse rischiarano.

Fa duopo notare, che il corpo opaco deve mettersi assai prossimo al cartone, affinchè le penombre abbiano poca estensione, ed avvicinar le ombre in modo da renderle quasi tangenti. Quando le luci hanno la stessa tinta, si perviene facilmente a trovare con la più grande esattezza l'uguaglianza delle due ombre, ma se le luci hanno tinte differenti, esse producono una differenza anche nelle ombre, ed allora riesce più difficile giudicar della loro intensità relativa.

La legge espressa non è rigorosamente esatta se non quando il corpo luminoso è veduto attraverso il vuoto, cioè quando si fa astrazione di qualunque mezzo; ma poichè ciò nel fatto non succede, perchè la luce passa sempre attraverso l' aria o per altri corpi o mezzi diafani o trasparenti, essa deve in conseguenza perdere a ciascun istante una parte della sua intensità secondo la natura e densità de' mezzi, la qual perdita è sempre mag-

giore quanto più cresce la densità del mezzo che attraversa. Così nel vetro, nell' acqua, o in altri liquidi trasparenti, la luce perde assai più d' intensità che nell'aria; più ne'luoghi bassi che in que'più alti dell' atmosfera, ove la densità dell'aria si fa sempre più minore ec. E con ciò noi spieghiamo lo splendore meno vivo che mostrano gli astri nel loro sorgere su l' orizzonte, come soprattutto succede del sole e della luna; dappoichè la luce da questi vibrata, passando obliquamente per una massa maggiore di aria, e più vicino all' orizzonte, deve traversar gli strati più bassi e più densi della nostra atmosfera, ma quando quelli astri più si alzano, ed i raggi ci vengono perpendicolari, la massa di aria che attraversano è meno grande, e la sua densità scemando successivamente dalla superficie terrestre alle regioni più alte dell' atmosfera, dobbiamo perciò vederli allora nel massimo loro splendore.

256. Per dare ragione dell' intensità della luce co'due sistemi, può dirsi che in quello dell'emissione, considerata essa come una materia reale luminosa, a misura che le sue molecole si diffondono, nel distribuirsi su le superficie sferiche sempre maggiori, deve la intensità della luce decrescere come aumenta l' estensione di queste superficie. E poichè in geometria è detto, che le superficie delle sfere aumentano come i quadrati de' raggi, ne segue che l' intensità della luce deve diminuire in ragione inversa de' raggi, o del quadrato della distanza al corpo luminoso, che si considera come il centro della superficie su cui trovasi distribuita la luce. Nel sistema poi dell'ondulazione l' intensità della luce deve ripetersi dalla quantità di forza viva delle vibrazioni degli atomi dell'etere, e perciò, come avviene ancora nella propagazione delle vibrazioni del suono, le amplitudini, o le velocità delle vibrazioni nel propagarsi sfericamente, decrescono in ragione inversa delle distanze; il perchè deve similmente la forza viva delle vibrazioni dell' etere decrescere come i quadrati delle stesse distanze, ed in conseguenza l'intensità della luce deve decrescere nella stessa ragione. Così presentando una superficie perpendicolare alla retta che va al corpo luminoso, la luce, che ogni punto della superficie riceve, deve avere il quarto d' intensità ad una distanza doppia, un nono ad una distanza tripla ec.; lo che è conforme alla ragione inversa de' quadrati delle distanze, perchè quando la luce sarà sparsa sopra una superficie doppia, tripla ec., la intensità dovrà essere come i quadrati di questi numeri, cioè quattro, nove volte minore ec.

257. Il grado di chiarezza del corpo è proporzionale al numero, all'intensità de'raggi luminosi, ed all'estensione della superficie rischiarata. Esso scema a misura che aumenta l' obliquità de'raggi su la superficie su cui cadono, ed è proporzionale al seno dell'angolo che i raggi fanno con questa superficie.

Si distingue *la chiarezza intrinseca reale* dalla *chiarezza intrinseca apparente*. La prima dinota la intensità della luce di ciascun punto fisico della superficie illuminata, e la seconda il grado di chiarezza che produce la sua immagine al fondo dell'occhio. Noi giudichiamo la chiarezza de'corpi sempre per la luce intrinseca apparente, perchè quando anche un corpo fosse realmente più luminoso di un altrò, se la luce dovesse traversare un mezzo più denso per arrivare all'occhio, perdendo allora d'intensità non potremmo giudicar se il corpo è o no realmente più luminoso o rischiarato. Così osservando il sole attraverso i vapori, o un diaframma traslucido, giudicheremo solo della chiarezza apparente non della chiarezza reale. La *luce assoluta* dunque di un corpo luminoso è eguale alla somma delle aree delle sue porzioni elementari, multiplicate ciascuna per la loro chiarezza intrinseca reale, e la *luce apparente* di un oggetto è eguale alla luce che penetra nell'occhio. Or quando noi ci allontaniamo da un corpo luminoso, deve la sua luce apparente diminuire, 1° perchè i nostri occhi che hanno una grandezza limitata debbono presentare alla luce una superficie costante, e conseguentemente ricevere una quantità di luce inversamente proporzionale al quadrato della distanza; 2° perchè passando la luce per l'aria o per altro mezzo diafano più o meno denso, e più o meno trasparente, per arrivare all'occhio, deve una parte di luce spegnersi. La chiarezza intrinseca apparente dunque, è eguale alla luce apparente divisa per la superficie dell'immagine su la retina dell'occhio.

Lambert opinava che la intensità della luce emanata da'corpi dovesse esser proporzionale al seno dell'*angolo di emanazione*, cioè coll'angolo che forma il raggio di luce con la superficie da cui emana. Eulero al contrario pensava che l'intensità della luce resta la stessa in tutte le direzioni, il che non si accorda coll'esperienza.

Le superficie luminose ci sembrano egualmente splendenti qualunque si fosse l'angolo che esse fanno con la retta condotta nella direzione dell'occhio. Così la chiarezza intrinseca apparente di un corpo rovente non aumenta sensibilmente quando questo si trova in una direzione obliqua. Perciò lo splendore del sole è lo stesso tanto negli orli che nel suo centro, ed un cilindro di ferro o di altro metallo pulito e rovente, veduto in una camera oscura, presenta la stessa intensità di luce che una lamina dello stesso diametro egualmente rovente. Che se invece di cilindro si adoperi una barra quadrata, e si faccia questa girare nella direzione del suo asse, la differenza si fa sensibile solo per accrescimento e decrescimento alternativo prodotto nel diametro apparente della barra rovente, il quale deve aumentare e scemare secondo la superficie maggiore o minore che essa presenta nella sua rotazione.

Quando due corpi luminosi hanno la stessa quantità di luce assoluta, e che sono situati ad eguale distanza e nella medesima posizione per rapporto ad una superficie bianca, o a due superficie della stessa bianchezza, essi debbono rischiararla egualmente. Quest'assioma ha servito di base alla fotometria, ed alla ricerca degl'istrumenti che meglio valevano a trovar la intensità di due o più luci differenti per paragonarle fra loro.

258. *Fotometri* —Comunque i fisici abbian cercato congegnar quegl'istrumenti che han detti *fotometri*, a fin di determinare più prontamente l'intensità della luce, pare che sinora non sian riusciti ad averne uno che rigorosamente corrisponda allo scopo propostosi.

Leslie, partendo dall'ipotesi che la luce è proporzionale alla temperatura che l'accompagna, pensò covrir con nerofumo una delle sfere del suo termometro differenziale, per destinarlo a misurar la intensità della luce, e così modificato quello strumento, porta ancora il nome di *fotometro di Leslie*. La sua ipotesi, in generale, non è esatta, e solo potrebbe aver qualche importanza per la luce solare, perchè esponendo quello strumento alla luce solare o delle fiamme, osservasi l'abbassamento della colonna liquida dal lato della sfera coverta col nerofumo. Per impedir poi l'influenza de' movimenti dell'aria, Leslie metteva il suo fotometro sotto una campana di cristallo, e così vedeva i mutamenti nella colonna liquida a misura che il sole alzavasi o abbassavasi su l'orizzonte. Nel primo caso la colonna liquida si alzava successivamente dal lato opposto della palla coverta con nerofumo, e giunta al massimo, quando i raggi solari vi cadevano perpendicolarmente, si abbassava poi successivamente allorchè il sole da quest'istante discendeva su l'orizzonte sino che dispariva affatto. Osservò Leslie, che nella stessa ora del giorno il liquido si alza dal solstizio sino al tempo più caldo dell'anno, e ne discende sino nell'inverno.

259. Rumfort, servendosi delle ombre, situava le due luci che voleva paragonare avanti un corpo opaco, ricevendo le ombre di questo sul cartone bianco. Allontanando allora o avvicinando una di esse sino che le due ombre avevano la stessa tinta, misurando le distanze delle luci al corpo opaco, ne traeva gli elementi necessarii per calcolare i rapporti cercati.

Il *fotometro di Ritchie* si crede il meglio che convenga per dare risultamenti più prossimi a determinare l'intensità della luce. Esso ha per principio anche il paragone di due luci che si fan penetrare in direzione opposta alle due estremità di una cassetta rettangolare tinta in nero nell'interno, facendole riflettere sopra una carta oliosa, o vetro traslucido posto nella metà della faccia superiore della cassetta ove arrivano le due immagini luminose riflesse sopra due specchi che sono nell'interno inclinati a 45°

col fondo della cassetta. Le due luci così riflesse, trovandosi una accanto dell'altra, allontanando ovvero avvicinandone la sorgente luminosa di quella che serve di confronto, sino ad avere una tinta eguale, nelle due ombre, le intensità allora delle luci che voglionsi misurare, si valutano in ragione inversa del quadrato della distanza a cui deve portarsi la luce di confronto.

260. *Applicazione de' fotometri.* Il processo di Rumfort, è quello di Richtie si sono frequentemente adoperati per paragonar le luci delle diverse lampade usate, a fin di aumentare l'effetto col risparmio del combustibile. Rumfort, dopo varie sperienze provò, che se la intensità della luce di una lampada o di una candela fosse = 100 quando è smoccolato il lucignuolo, essa scende a 39 dopo 11 minuti, ed a capo di mezz'ora a 16, ma torna a 100 ove si smoccoli di nuovo. Le variazioni d'intensità di una candela di cera ordinaria, sono comprese tra 100 e 60. Una lampada d'Argant ordinaria, o un *quinguet* a luccignuolo cilindrico, ed a doppia corrente di aria, dà, quando brucia con maggiore splendore, altrettanta luce che 9 candele di cera bene smoccolate. Una lampada con lucignuolo piano, nelle circostanze più favorevoli, quando cioè presenta una fiamma larga senza fumo, consuma 6 parti di olio, ed una lampada d'Argant che dà la stessa luce ne consuma 5.

Ma, quanto alla costruzione delle diverse lampade sinora in uso, vi concorrono più ragioni per farne variar la intensità della luce, e fra queste sono prime da osservarsi la carbonizzazione del luccignuolo e l'abbassamento di livello dell'olio ne'serbatoi, il che cagiona dispersione in vapori di una parte dell'olio senza che si bruci. Nelle *lampade Carcel*, e nelle altre fatte su lo stesso principio, quest'inconveniente ora è tolto, perchè un sistema di trombe, od altro presso a poco analogo, fa alzare continuamente l'olio sino al lucignuolo di cui un terzo si scompone e si riduce in gas infiammabili, e l'altro ricade nel serbatojo; il qual mezzo contribuisce a tenere ivi l'olio quasi sempre alla stessa temperatura, e così il lucignuolo essendone egualmente e costantemente bagnato, la sua carbonizzazione è assai più lenta, come è la dispersione dell'olio in vapori senza bruciarsi anche appena sensibile. Aggiungasi il cammino di vetro che trovasi più stretto nel punto poco sopra il lucignuolo, e l'alta temperatura a cui sale, e si avrà altra ragione più possente ad impedir la volatizzazione dell'olio, e perciò la intensità della luce in queste lampade resta quasi costante. Quest' ultimo effetto ora notato nelle lampade Carcel, ha suggerito l'idea di adoperar gli stessi cammini in quelle d'Argant, e ne'*quinguet*, e così la intensità della luce si è fatta assai maggiore di prima, cioè quando adoperavansi cammini larghi o a palle, perchè allora la dispersione dell'olio in vapori diveniva più sensibile. Dal § 135 al § 140,

si son date le norme quanto alla intensità delle correnti di aria che occorrono per crescere la luce in queste lampade, con i particolari tutti che la riguardano.

261. Le *lampade* dette *solari* son fatte anche a doppia corrente di aria, e l'olio trovasi riscaldato e può così anche scomporsi quasi tutto, per l' alta temperatura a cui sale la capsola superiore metallica sotto la quale brucia il lucignuolo, e perciò la fiamma n' è assai più splendente.

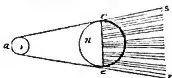
Ne'fari a rifrazione, congegnati da Arago e Fresnel, le lampade contengono più luccignuoli concentrici, i quali hauno il vantaggio di produrre una luce superiore in una estensione di fiamma comparativamente a quella ottenuta da un solo lucignuolo. Una lampada che ha 3 a 4 lucignuoli così disposti, dà uno splendore che uguaglia 10 a 20 *quinquet* ordinarii. Ma paragonando Arago e Fresnel questa loro lampada a quella Carcel, trovarono che la quantità di olio consumato era proporzionale alla luce prodotta.

262. Gli stessi mezzi fotometrici indicati si sono adoperati per paragonare la luce de' gas infiammabili ottenuti dal carbon fossile, dall'olio, o da altre materie combustibili, co'quali ora si rischiarono le strade ec., a fin di conoscer quale disposizione meglio convenga dare alle estremità de'tubi da cui si fa uscire il gas, per averne con lo stesso volume più luce. In generale ha potuto stabilirsi, che la luce più brillante si ha quando si obbliga bruciare il gas sotto cammini a doppia corrente di aria, come quelli de' *quinquet*, e si fa uscirlo per maggior numero di piccoli fori che per un solo, e che il cannello da cui esce sia retto e non curvo. Paragonando il potere illuminante di due gas, uno ottenuto dal corbon fossile (huille), e l'altro dall'olio, in circostanze e con tubi eguali, essi sono fra loro presso a poco nel rapporto di 1 ad $2\frac{1}{4}$. Questo rapporto può variare col variarla la qualità del carbone e dell'olio, e col modo con cui si sono ottenuti e depurati i gas destinati a questa nuova illuminazione.

263. *Ombra* e *penombra*—Quando nella direzione di un fascio di luce si frappone un corpo opaco, questo è rischiarato solo dalla parte che guarda il fascio luminoso , e produce dietro a se una ombra la quale, è modificata dalle dimensioni, forma e posizione del corpo luminoso e del corpo opaco. La porzione oscura dello spazio dietro il corpo che arresta il passaggio a' raggi di luce, ha ricevuto il nome di *ombra pura;* ma poichè il passaggio tra la parte oscura e quella perfettamente rischiarata non è sempre tutto intercettato dal corpo opaco, quella porzione dello spazio che riceve una parte della luce, produce vicino l' ombra un'altr'ombra meno oscura che si è detta *penombra*. L'ombra pura si ha quando proviene da una luce molto intensa, e che si riceve a poca distanza dietro il corpo opaco; chè se essa prolungasi

troppo, o che proviene da debol luce, presenterà in fuora un altr'ombra meno rischiarata, cioè la *penombra*.

La forma dell'ombra dipende dalla grandezza del corpo illuminante e del corpo illuminato, o dall'ostacolo che intercetta i raggi. Essa prende la forma di un cono, la cui base sta dietro il corpo opaco, se il corpo luminoso è più grande dell'opaco, come è quella della terra rischiarata dal sole; se il diametro del fascio luminoso è eguale al diametro del corpo opaco, l'ombra sarà un cilindro che conserva lo stesso diametro comunque la si consideri prolungata indefinitamente; ed ove il corpo opaco fosse più grande del corpo luminoso, come è la terra rimpetto alla luna, l'ombra allora prende la forma di un cono troncato, ovvero di una piramide che ha il corpo per base, la cui altezza dipende dalla distanza alla quale si trova il corpo luminoso. Così nella figura vedesi la luna in *a* che rischiara lo spazio *n e e'* della terra, l'ombra *e e' s r* che manda dietro ha la forma di cono troncato ec. Ed in ultimo, se il corpo opaco fosse rischiarato nello stesso tempo da più luci, si avrebbero altrettante ombre nel modo espresso, per quante sono le luci poste avanti il corpo opaco.



L'ombra dunque è lo spazio che trovasi dietro il corpo opaco rischiarato da una o più luci, postogli dinanzi, e nel quale i raggi che vibrano non possono penetrarvi direttamente. Ma un ostacolo che riceve la luce da uno o più punti, intercetta altrettanti coni luminosi, la cui direzione è data da quella de'punti luminosi, e le porzioni di que' raggi che non cadono su l'ostacolo dovranno rischiarare una parte dello spazio che sta fuora il limite dell'ombra pura; il perchè que'punti che sono nell'ombra, per rapporto a certi fascetti luminosi, debbono ricever la luce da certi altri e produrre la penombra. Che se poi lo sperimento si fa con la luce che penetra per una piccolissima apertura, si avrà nello stesso mentre l'ombra e la penombra che si disegnano in tanti anelli neri che si alternano con anelli alquanto illuminati, i quali derivano, i primi dall'ombra, ed i secondi dalla penombra.

Catottrica.

264. La *catottrica* è quella parte dell'ottica che esamina quanto ha ragione con la *riflessione della luce* (1).

(1) La voce catottrica è tratta da κατοπτρικη, *catoptron*, specchio, κατα *cata* contra, ed οπτομαι, *optomai* vedere, cioè veder contro specchio o per riflessione.

Un raggio di luce si riflette quando incontra nel suo cammino un ostacolo che l' obbliga piegarsi verso il mezzo che attraversa, seguendo altra direzione se vi cade obliquamente, e tornando per la stessa retta quando vi cade perpendicolarmente. In ogni caso avviene sempre, che una parte della luce incidente è assorbita dall'ostacolo, e rimane estinta, un'altra vi si sparpaglia, diffondendosi in ogni direzione, ed illumina la superficie su cui cadono i raggi, e l'altra, che è sempre più grande, vi si riflette regolarmente, seguendo una legge costante.

Supponiamo ora un piccolo specchio posto in una camera oscura, e che su la sua superficie vi cada un fascetto luminoso; in questo caso, se tutta la luce vi si riflettesse regolarmente, non potrebbe vedersi lo specchio se non quando l'occhio dell'osservatore si trovasse su la stessa retta del fascetto luminoso; ma la *diffusione* de' raggi irregolarmente riflessi, produce lo stesso effeto come se lo specchio fosse per se stesso luminoso, e perciò vedendosi da ogni parte della stanza, è evidente che deve esso diffondere raggi in ogni direzione. La *diffusione* dunque, o la *riflessione irregolare* de' raggi, è una condizione necessaria alla visibilità degli oggetti su i quali la luce s'imbatte.

Le quantità di luce riflesse *regolarmente* ed *irregolarmente*, non sono eguali o complimentari, e ciò perchè il corpo ne estingue una quantità che varia con la sua natura e stato della superficie riflettente, dovendo la luce riflessa regolarmente su lo stesso corpo, e sotto la medesima inclinazione, aumentare col polito, e scemar con la scabrosità della superficie. La quantità poi di luce assorbita, si estingue tutta quando il corpo è opaco, ed in quantità appena sensibile ove fosse diafano.

Tutt'i fenomeni di catottrica hanno ragione da queste due leggi fondamentali.

1. *Il piano d'incidenza coincide col piano di riflessione*, cioè che il raggio diretto ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano normale alla superficie.

2. *L'angolo di riflessione è eguale all'angolo d'incidenza;* cioè che essi fanno angoli eguali con la normale (1).

Le superficie riflettenti sono *piane* o *curve*, ma poichè una curva qualunque presenta ne'punti incidenti del raggio de'piani che aumentano in estensione con l'ampiezza della curva, bisogna solo condurre un piano tangente alla superficie, nella direzione del

(1) Queste leggi sono identiche a quelle della riflessione de' corpi elastici e del suono, e perciò tanto il calorico che la luce debbono provenire da materia comunque sommamente attenuata, ma perfettamente elastica, sia quella che si suppone riempir lo spazio, § 88, e che si è detto *etere*, sia quella che si crede emanar da' corpi caldi o luminosi, § 88, sia in ultimo quella che deriva da un moto di azione indotta nella materia ponderabile de' corpi caldi o luminosi § 81.

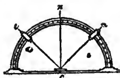
punto incidente, ed alzare una perpendicolare a questo piano, che la riflessione avvenga come nella superficie piana, e perciò la legge rimane la stessa, per qualunque superficie riflettente, perchè questa essendo levigata e ben tersa, deve il piano del raggio incidente e di questa perpendicolare comprendere il raggio riflesso, in modo che i due angoli, cioè quello del raggio incidente, e del raggio riflesso saranno eguali tanto ove si misurino sul piano su cui cade il raggio, che con la normale. In generale poi è da ritenersi, che i raggi che cadono su la superficie concava escono *convergenti*, e quelli che cadono su le superficie convesse escono *divergenti*, ma secondo la posizione de' fochi, nelle superficie concave, possono, come vederemo più innanzi, uscirne anche divergenti, cilindrici, o tornar su lo stesso punto luminoso, quando questo trovasi posto nel centro della sfera da cui deriva la parte della curva, ec. (V, riflessione su le superficie concave).

265. Per provar con una sola sperienza le due leggi fondamentali di catottrica, può adoperarsi il cerchio ripetitore che vedesi qui segnato. Dispostovi in basso orizzontalmente una lamina metallica pulita o il mercurio in un vaso, come vedesi nella figura, standovi il centro *c* del gran cerchio *v d v' o*, verticalmente, si mira col canocchiale *o* una stella o altro corpo rischiarato assai lontano nella direzione di *oe*, ed abbassando dopo il cannocchiale sino a vederla per riflessione sul mercurio tranquillo, o su la lamina metallica, cioè nella direzione di *r o'*, si vedrà l'immagine nel punto *i*, ove vedesi alzata la normale *i n*, la quale starà sempre su lo stesso piano verticale. Si avranno così due osservazioni, la prima con la luce diretta *e d*, quando si volta in alto il cannocchiale, e l'altra con la luce riflessa *e' i r* quando si abbassa nella direzione *o' r i*. In questo mentre osservasi, che l'angolo descritto dal canocchiale per passare dall'una all'altra delle due indicate posizioni, e sempre doppio dell'angolo che esso fa con l'orizzonte nella prima osservazione, cioè che l'angolo *r c d* è doppio dell'angolo *d c n* che fa con l'orizzonte sopra *n*; e si vedrà nel corso dell'esperienza, che l'angolo *d c p* è uguale all'angolo *p c o'*. Or le verticali *p c*, *i n* essendo parallele come i raggi *e d*, *e i*, che vengono dallo stesso punto luminoso, ne segue che gli angoli *d c p*, *p c o'* segnati sul cerchio graduato, sono rispettivamente eguali agli angoli *e' i n*, *n i r*, e per conseguenza questi stessi sono anche eguali fra loro; e nello

stesso mentre è evidente, che il piano d'incidenza *e' i n* coincide col piano di riflessione *n i r*, il che comprova questa sola sperienza le due leggi espresse.

In questo caso fa duopo notare, che non è assolutamente necessario provar direttamente che il raggio *i r* venga da *ci*, perchè al punto *i* non può cadervi se non un raggio parallelo ad *ed*.

266. Ma le stesse leggi di catottrica possono dimostrarsi in modo più semplice col semicerchio diviso in 180 parti eguali, che vedesi quì accanto. Ciascuna divisione ha un piccol foro pel quale si fa entrare ed uscire il raggio di luce, ovvero esso porta due piccoli cannelli mobili sopra una scanalatura praticata su la fascia del semicerchio, in modo che essi possono correrne tutta la circonferenza e fermati, si trovino nella direzione de'gradi che vi sono segnati. Or trovandosi il cerchio perpendicolarmente al piano *e*, facendo entrare un fascetto di luce dal punto *e*, parallelamente al cerchio, pervenuto questo sul piano *c* sarà riflesso e veduto solo quando il piccolo cannello portasi in *c'*, alla stessa distanza della normale *cn* da cui è entrato il raggio, cioè che segna da *ne'* lo stesso numero di gradi che sono da *n e*. Si troverà allora che i raggi incidenti ed i raggi riflessi sono egualmente inclinati su lo stesso piano perpendicolare alla superficie *c*, ed egualmente allontanati dalla normale *e n*. L'eguaglianza dunque degli angoli *e c n* ed *e' c n* è una conseguenza di quella degli angoli che il raggio incidente e quello riflesso fanno similmente col piano *c*, il che comprova le due leggi espresse, cioè che il raggio incidente ed il raggio riflesso sono in uno stesso piano perpendicolare alla superficie, e che l'angolo d'incidenza *e' c n* è eguale all'angolo di riflessione *e c n*.

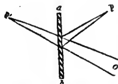


267. *Riflessione su i specchi piani*. Quando i raggi di luce si riflettono su le superficie piane, il loro rapporto non è punto cambiato. Così i raggi *paralleli* si alzano paralleli, i raggi *divergenti* conservano la loro divergenza, ed i raggi *convergenti* ritengono gli stessi rapporti di convergenza.

Siccome il pulito e la opacità perfetta delle superficie è indispensabile affinchè la riflessione de'raggi meglio succeda nel modo espresso, vengono perciò preferite le superficie metalliche, o il mercurio. Allora i rapporti de'raggi riflessi a'raggi incidenti si conservano esattamente; e difatti, ne' specchi ordinarii, fatti col vetro e coll'amalgama di stagno, succedono nello stesso mentre due riflessioni, una su la superficie del vetro ed un'altra sopra quella dell'amalgama, dovendo poi variar la prima col variare la spessezza del vetro. Questa circostanza rende necessario l'uso degli specchi metallici ne' teloscopii, ed in altri

strumenti di ottica ne'quali vuol conservarsi costante la riflessione de'raggi, ed impedir che altri fossero nello stesso tempo rifratti.

In uno specchio piano si vede l'immagine tanto lontana dietro di esso quanto trovasi avanti. Per provarlo potremmo supporre un sol raggio di luce, ma poichè ciò non succede nel fatto, perchè la luce che va da un punto luminoso all'occhio vi arriva sempre in più raggi, ove il punto luminoso fosse in P, il fascio di luce che cadrebbe su lo specchio piano *ab*, sarebbe riflesso in *o*, ove trovasi l'occhio, e perciò l'osservatore vede, o giudica trovarsi il punto luminoso non in P, ma dietro lo specchio in *p'* alla stessa distanza di quello che è avanti in P. Così noi vediamo gli oggetti in immagini perfettamente simmetriche a loro stessi dietro allo specchio medesimo. La nostra immagine avanza o retrocede secondo che noi ci allontaniamo avvero ci avviciniamo dallo specchio. Ove poi in una stanza fossero disposti più specchi nelle diverse pareti, come osservasi d'ordinario ne'caffè ec. si vedrebbe una immagine ripetersi più volte, ma la nuova immagine che si ripete in ciascuna volta si vedrebbe sempre successivamente più lontana, il che deriva dalla riflessione successiva dello stesso fascio di luce alternativamente su l'uno e l'altro specchio, il quale perchè va più in più allargandosi, l'occhio che lo raccoglie, giudica l'oggetto più lontano a misura che la sensazione li viene da un cono luminoso i cui raggi più allargati in avanti, dovrebbero unirsi a maggiore distanza.

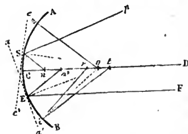


Riflessione su le superficie curve. Quando più raggi sono riflessi sopra una superficie curva, conducendo su i punti da cui escono separatamente, un piano tangente alla superficie, si vedrà che il raggio riflesso sopra ciascuno di essi, si comporterà, relativamente al rispettivo piano tangente, allo stesso modo che quando si riflettono su la superficie piana, e ciò perchè una superficie curva essendo un insieme d'infinite superficie piane, le considerazioni esposte per quest'ultime sono applicabili tanto a'specchi concavi che convessi.

Specchi concavi.

268. L'effetto generale de'specchi concavi è di rendere più convergenti i raggi che non erano nel momento della loro incidenza. Uno specchio concavo formato da una porzione di sfera presenta alcune proprietà che sono conseguenza della curva di questo specchio. Così quando i raggi partono da un punto lu-

minoso posto nel centro della curva di questo specchio, nel riflettersi tornano tutti nello stesso punto da cui son partiti. Se i raggi partono da un punto posto alla metà del raggio tra la superficie dello specchio ed il suo centro di curva, uscendone divergenti, si alzano tutti paralleli all'asse, ma se vi arrivano paralleli, nel convergere si riuniscono tutti nello stesso punto, che si dice il *foco principale dello specchio*, il quale può facilmente trovarsi, dirigendo lo specchio a'raggi paralleli del sole, osservando ove il punto luminoso che si riceve sul cartone ha maggior chiarezza, ed ove deve portarsi l'esca perchè si accenda. Che se poi il corpo luminoso portasi più prossimo alla superficie dello specchio, cioè tra la sua superficie ed il foco principale, allora i raggi usciranno divergenti. Ed in ultimo ove i raggi che partono da un punto luminoso non si riuniscono tutti nello stesso foco, in questo caso l'insieme de' punti ove i raggi si tagliano genera una superficie che dicesi *caustico per riflessione*. (§ 277).



269. La figura di lato è sufficiente a rappresentare i casi più generali esposti. A B è una parte della curva dello specchio sferico, il cui centro vedesi segnato in *o* su la linea C D, che ne rappresenta l'asse. Il punto C dicesi *centro ottico*, il punto *o centro geometrico*, ed *o* C *asse ottico*, cioè il raggio della sfera parallelo a'raggi luminosi. Supponiamo un raggio che venga dal punto F, che è il caso del *foco de'raggi paralleli*, se nel punto E su cui cade, si conduca la tangente *a a'*, dovrà il raggio riflesso convergere nel punto *n'*, che è il *foco principale* dello specchio, e far con la normale E *o* l'angolo d'incidenza F E *o* eguale all'angolo di riflessione *n'* E *o*, posti su lo stesso piano D A B. Che se il raggio uscisse divergente dal punto *n'*, lo stesso avverrebbe quanto agli angoli, con la differenza che il raggio, o i raggi uscirebbero tutti paralleli all'asse dello specchio, seguendo questa stessa direzione indefinitamente.

Consideriamo il caso in cui il raggio venisse dal centro *o*, della curva dello specchio; esso pervenuto in *m*, tornerebbe nello stesso punto d'onde è venuto, dappoichè il piano tangente condotto nel punto *m*, trovasi perpendicolare ad *m o*; e perciò il raggio non forma alcun angolo nella sua riflessione; laonde in questo caso il punto luminoso ed il foco sono reciproci, vale a dire che se il foco divenisse luminoso, il punto luminoso diverrebbe il foco, e perciò i due punti si son detti *fochi congiunti*.

270. Quanto al foco de' *raggi divergenti*, se il raggio viene di là

del punto *n'*, come da *t*, e si riflette nel punto *i*, si alza convergente tagliando l'asse C D nel punto *r*, facendo l'angolo di riflessione *o i r* con la normale *i o*, eguale all'angolo d' incidenza *o i t*. Ed in ultimo, ove il raggio venisse da un punto intermedio tra il foco principale e la superficie dello specchio, come da *n*, se pervenuto in S si conduca su questo punto la tangente *e e'*, alzandovi la normale *so*, si troverà che il raggio deve uscir divergente dallo specchio, e seguir la retta S *p*, perchè dovendo l'angolo di riflessione *o s p* essere eguale all'angolo d'incidenza *o s n*, deve il raggio divergere. Ed ove un punto luminoso fosse situato tra il foco principale e lo specchio, i raggi tutti che vi si riflettono debbono uscirne divergenti senza mai incontrarsi, e solo potrebbe ciò avverarsi ove que' raggi si supponessero prolungati dietro lo specchio, dovendo riunirsi tutti in un punto sul prolungamento dell'asse C D anche dietro lo specchio, che si è detto *foco viuale*; come vedonsi congiunti nella figura nel punto *n'* nella direzione del *foco reale n* che stà avanti lo specchio.

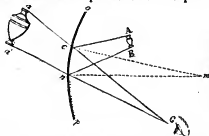


Gli esempii addotti bastano a dar ragione di tutti gli altri casi possibili di riflessione prodotta da una superficie concava, ed essi stessi spiegano il modo di applicare i riverberi a seconda del bisogno. Così quando si vuole la luce più concentrata, e che vada a maggiore distanza, come è il caso de' fari, o delle lunghe strade, si usa del *foco de' raggi paralleli*; se vuole rischiararsi una gran sala, una piazza ec. si situa la luce sotto il foco principale al punto, come si è detto in *n*, d'onde i raggi divergenti escono anche divergenti senza mai incontrarsi. Le posizioni del punto luminoso nel centro della curva dello specchio, obbligando i raggi a tornare nello stesso punto, renderebbero presso che nullo l'uso del riverbero; come è il punto *t*, da cui si è detto che deriva il foco de' raggi convergenti *r*, perchè ivi riuniti si diffonderebbero presso a poco anche come se la luce fosse posta in questo foco.

Gli specchi concavi che più generalmente si adoperano sono quelli descritti, cioè sferici, sebbene i parabolici dovessero preferirsi quando si vogliono esattamente riuniti in un punto i raggi paralleli, o render paralleli que'emanati da un punto luminoso, come son quelli adottati per rischiarar le strade ec. Nondimeno le leggi generali esposte, si applicano senza restrizione ad ogni altra superficie, dappoichè tutto si riduce a trovare per ciascun punto su cui cade un raggio luminoso la direzione del piano tangente o della normale, il che è un semplice problema di geometria a sciogliere. Così, un punto luminoso posto nel centro geometrico di una sfera, inviando in ogni direzione raggi su la superficie, questi tornano tutti su lo stesso punto da cui ven-

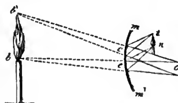
gono. Lo stesso avviene ove il punto luminoso fosse posto nel foco di un'elissoide, perchè mandando essa de'raggi sopra tutt'i punti della sua superficie, dovranno, dopo la loro riflessione, riunirsi e concentrarsi nell'altro foco, e quindi continuando il loro cammino, tornare al primo foco dopo una seconda riflessione, al secondo foco dopo una terza riflessione, e così di seguito. Lo stesso dicasi del punto luminoso posto nel foco di una paraboloide, perchè i suoi raggi che sarebbero riflessi parallelamente al suo asse, anderebbero a perdersi all'infinito; e reciprocamente un punto luminoso posto all'infinito, come i raggi di una stella ec., e su l'asse dalla paraboloide, invierebbe raggi che verrebbero tutti a concentrarsi al suo foco.

271. *Immagini prodotte da'specchi concavi.* Quando mettonsi oggetti rischiarati, o l'occhio dell'osservatore avanti uno specchio concavo, essi vedonsi dietro o avanti, dritti o capovolti, più grandi o più piccoli ec., a seconda della posizione e distanza loro relativa. Così quando l'occhio o il punto luminoso portasi nel foco geometrico dello specchio, non si vede alcuna immagine, perchè l'incidenza de'raggi essendo perpendicolare, la riflessione sarà pure perpendicolare. Che se si oltrepassi tal punto, andando sempre più vicino la superficie dello specchio, quando l'immagine comincia a vedersi, sarà più grande e poco distinta; ma si vedrà a poco a poco farsi più piccola e più distinta, e pervenuto p. e. a toccar col naso la superficie dello specchio, si vedrà allora nella quasi sua naturale grandezza, sempre dritta e dietro lo specchio. Che se poi l'oggetto rischiarato o l'occhio dell'osservatore portasi sempre più lontano dallo specchio, non appena avrà oltrepassato il foco geometrico, vedrà l'immagine apparir nuovamente come prima, cioè più grande e meno distinta, ma capovolta ed avanti, non dietro lo specchio; ed a misura che l'oggetto o l'occhio più se ne discostano, l'immagine si fa più piccola e distinta, conservando la stessa posizione; e si vedrà sempre nella direzione dell'asse dello specchio quando guardasi per questa retta, e si vedrà dal lato opposto sotto o sopra quest'asse, secondo che l'osservatore portasi sotto o sopra di esso.

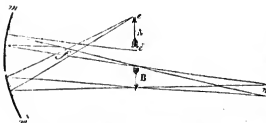


Supponiamo ora che l'oggetto AB venga posto alquanto sopra il foco dello specchio *o p*; esso allora sarà veduto dall'occhio posto in C dietro lo specchio, più grande e lontano che non è avanti; e ciò perchè i raggi incidenti A *c* B *n*, che escono dalle estremità dell'oggetto, cadono divergenti su

lo specchio, e riflessi all'occhio che è in C, si fanno convergenti, o come se partissero da questo punto. L'immagine dunque deve esser più grande nella posizione di $a\ a'$ dietro lo specchio che non è avanti in AB; perchè essa è veduta in aa' sotto un angolo più grande dell'oggetto, che deriva dal prolugamento de' due raggi riflessi C a, C a' sino al punto da comprendere l'oggetto in $a\ a'$. Le normali $c\ m$, nm, alzate da'punti incidenti $c\ n$ al foco geometrico m dello specchio $o\ p$, danno il rapporto degli angoli d' incidenza $A\ c\ m$, $B\ n\ m$ a quelli di riflessione C$c\ m$, C$n\ m$.



272. Lo stesso osservasi quando mettesi una candela in $t\ n$, perchè i raggi riflessi dalla curva dello specchio mm' in $c\ e$ ne faran veder l'immagine all'occhio posto in o più grande in $b\ b'$ e più lontana che non è in $t\ n$. ec.



273. Nel caso dell' oggetto veduto avanti lo specchio, supponiamolo posto più lontano dal foco f, cioè in A. Se l'oggetto è un punto luminoso, la sua immagine sarà veduta avanti nella sua posizione naturale, ma se invece fosse più grande, come quello segnato dalla freccia $e\ e'$, dovendo in questo caso i raggi riflettersi su la curva dello specchio $m\ m'$, s' intersecheranno in modo da far vedere all'occhio in n la stessa freccia in B, ma capovolta ec.

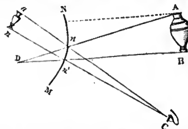
Specchi convessi.

274. La riflessione su gli specchi convessi segue le stesse leggi di catottrica, perchè si è detto potersi le curve tutte considerar come un seguito d'infiniti piani, e perciò la riflessione succede come nelle superficie piane, su le tangenti condotte su i punti incidenti de' raggi. Essi differiscono dagli specchi concavi per gli effetti che sono inversi; dappoichè da questi ultimi i raggi escono convergenti, paralleli all'asse, o divergenti; e negli specchi convessi tutt'i raggi che vi cadono si alzano sempre più divergenti che

non erano prima della loro incidenza, ma l'angolo di riflessione è sempre eguale all'angolo d'incidenza.

I fenomeni generali degli specchi convessi sono meno complicati. L'immagine che riflettono è veduta dietro lo specchio sempre più piccola e più vicina che non è avanti. Può ciò provarsi situando l' oggetto in un punto qualunque dirimpetto la superficie convessa, perchè questa non ha come la concava un foco reale, ma immaginario, il quale trovasi dietro lo specchio. Così quando un raggio vi cade perpendicolarmente, esso è riflesso nella stessa direzione; ma se vi cade di un grado qualunque di obbliquità, si alza sempre più divergente, senza mai incontrarsi con altri raggi che vi fossero similmente riflessi. Che se due raggi che vengono dalle estremità di un oggetto posto avanti lo specchio, si prolungassero dietro di esso, si dovrebbero unire un punto, che dicesi *foco negativo*, la cui distanza dallo specchio si chiama *distanza focale negativa*. Tanto il calcolo che l'esperienza dimostrano, che l'immagine, veduta dietro lo specchio convesso, trovasi ad egual distanza, tra il suo centro geometrico ed il centro ottico, cioè tra il punto in cui l' asse tocca la superficie dello specchio ed il centro da cui deriva il suo profilo.

275. Uno specchio convesso cambia, con la riflessione, i raggi paralleli in raggi divergenti, i divergenti in più divergenti, ed i convergenti vi sono riflessi o paralleli o convergenti. Nella figura di lato l' oggetto AB vedesi dietro lo specchio NM in *an* più piccolo e più prossimo che non è avanti in AB; dappoichè se prendonsi i soli due raggi *An Bn'* che partono dalle estremità dell'oggetto, cioè da AB, perchè quelli che vanno nella direzione di AN, non arrivano all'occhio dell'osservatore che è in C, cadendo essi convergenti in *nn'* su lo specchio N M, saranno riflessi più convergenti ed anderanno ad unirsi nel punto C. Or se in questo punto trovasi l'occhio dell'osservatore, cioè nella direzione de'raggi riflessi che possono riunirsi sotto questo dato angolo, esso vedrà l'immagine dell'oggetto dietro lo specchio in *a n*, più piccola e più prossima alla superficie di quest'ultimo. Che se suppongasi che i raggi incidenti, sotto il grado di convergenza in cui si veggono in *n n'*, proseguissero il loro cammino per le stesse rette, dovrebbero incontrarsi e formare un foco nel punto D, che è più vicino alla superficie dello specchio, e perciò l' immagine allora sarebbe veduta sotto un angolo più piccolo dell'oggetto, il quale

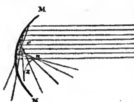


quanto più sarebbe lontano dallo specchio, tanto più l'immagine riflessa si vedrebbe piccola.

L'uso degli specchi convessi è troppo limitato. Essi servono sovente a'pittori quando vogliono ridurre sia un paesaggio che, una figura ec., a proporzioni più piccole, ma le linee ne sono sempre un poco alterate.

276. *Riflessione su gli specchi conici e cilindrici, e delle anamorfosi.* Gli effetti prodotti da questi specchi si fan servire sovente per giuochi fisici, quando voglionsi produrre immagini difformi da oggetti regolari; ovvero al contrario, adoperando disegni che presentano tratti bizzarramente disposti, si vuole per la convenevole disposizione accanto a quegli specchi produrre figure abbastanza regolari. Questi disegni sono delle *anamorfosi*, cioè rappresentazioni mostruose di qualche immagine sopra una superficie curva, la quale a certa distanza, quando l'occhio dell'osservatore e lo specchio sono nelle posizioni determinate, quelle che prima erano anamorfosi, cioè figure irregolari, appariscono dopo figure regolari.

277. *Caustico per riflessione.* Quando i raggi che partono da un sol punto luminoso s'imbattono su la superficie pulita di uno specchio che ha una curva più pronunziata che quella de'riverberi ordinarii, nel riflettersi non si riuniscono, come negli altri casi esposti, in un sol foco, ma tagliandosi succesivamente in diverse parti ne' punti consecutivi ove s'incontrano, generano una superficie che si è detta *caustico per riflessione*. La sezione di questa superficie per un piano normale allo specchio M N, dà le due curve *n e*, *n* Z che ne sono i due caustici, perchè ivi le intersezioni de'raggi riflessi divengono più numerose e più avvicinate che in altri punti. In ogni caso l'immagine è sempre visibile in tutte le posizioni dell'occhio, quando questo può ricevere una delle tagenti condotte dall'uno all'altro caustico. Così può facilmente conoscersi la forma del caustico mettendo avanti lo specchio, rivolto verso i raggi solari che vi cadono paralleli, un cartone bianco nella direzione dell'asse del caustico, perchè la sezione di questa superficie sarà così veduta con assai precisione.



Ciascun punto del caustico è un foco, ma fa duopo notare, che questi diversi fochi non hanno tutti la stessa intensità, e che quello ch'è nel punto *n* è più brillante degli altri, perchè, come vedesi nella figura, ivi giungono più raggi riflessi che vengono da' raggi incidenti vicini dell'asse, che non arrivano negli altri punti. Ed in ultimo, la forma de'caustici rende evidente che, i raggi che sono lontani dall'asse debbono tagliarlo tra il foco

principale e la superficie dello specchio, il che avviene quando la sua curva è tanto grande da permetter che il punto in cui si tagliano i raggi riflessi, si trovi assai lontano dal suo foco principale.

Diottrica o luce rifratta.

278. La *diottrica* (da διὰ, *dia*, attraverso, ed ὀπτομαι *optomai* vedere) è la parte dell'ottica che esamina i fenomeni delle *luce rifratta*. La deviazione, o il cambiamento di direzione che la luce patisce passando da un mezzo all'altro, cioè per que'corpi che si son detti *diafani* o *trasparenti*, come per l'aria, per l' acqua, pel vetro ec. dicesi *rifrazione*, e si chiama *rifrangente* il mezzo o corpo che la produce. In ogni caso, quando un raggio di luce inclinato di una quantità qualunque alla superficie che è comune a' mezzi, passa da un mezzo all' altro, una parte n' è riflessa, e l'altra è più o meno rifratta, cioè devia più o meno dalla direzione primitiva.

La rifrangibilità di un mezzo non dipende solamente dalla sua densità relativa, ma ancora dalla particolar sua natura, e perciò osservasi qualche volta, che un mezzo quantunque meno denso di un altro, è nondimeno più rifrangente, e perciò la *rifrangibilità* non è esattamente proporzionale alla *densità*.

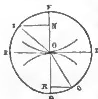
Tutt'i fenomeni di diottrica possono spiegarsi con le seguenti leggi generali.

1. *Quando la direzione del raggio luminoso è perpendicolare alla superficie comune a'mezzi che attraversa, non è rifratto, e continua a muoversi per la stessa retta, diminuendo solo nella intensità primitiva allorchè dal vuoto entra ne'mezzi, e più o meno che questi sono più densi o meno densi.*

2. *Quando il raggio segue una linea inclinata di una quantità qualunque alla superficie che è comune a' mezzi, esso allora patisce una rifrazione o deviazione la quale aumenta a misura che l'inclinazione del raggio diviene maggiore, e se pel punto d'incidenza ove il raggio incontra il secondo mezzo, si conduca una linea perpendicolare alle due superficie, il raggio rifratto si avvicina a questa perpendicolare, quando il mezzo in cui entra è più denso di quello da cui viene; ed al contrario se ne allontana se dal mezzo più denso passa nel mezzo meno denso.*

3. *Il raggio incidente e quello rifratto sono sempre compresi in uno stesso piano normale alla superficie comune a'due mezzi, ed il seno dell'angolo di rifrazione è al seno dell'angolo d'incidenza in un rapporto costante negli stessi mezzi sotto tutte le incidenze.*

278. Per dimostrare in modo assai semplice le premesse leggi, può adoperarsi l'apparecchio immaginato da Cartesio. Supponiamo un raggio che venga perpendicolarmente alla superficie de' due mezzi BD, dal punto F; esso allora non sarà menomamente rifratto, e perciò seguirà la retta FG senza cambiar direzione. Ma se invece vi cade obliquamente, venendo dal punto I, non seguirà più la stessa retta anche nel secondo mezzo, B G D, perchè passando dal primo al secondo più rifragente, come dall'aria nell'acqua, pervenuto nella superficie dell' ultima nel punto d' immersione in O, comunque questa fosse piana, concava o convessa, si vedrebbe sempre deviar dalla sua direzione primitiva, accostandosi alla normale F G, e perciò l' angolo di rifrazione O R C sarà più piccolo dell'angolo d'incidenza O F I. Ed al contrario, se il raggio viene dal mezzo più denso pel punto C, pervenuto nella superficie del secondo mezzo meno denso o meno rifrangente in O, si allontanerà dalla normale F G. Il che è conforme alla prima e secondo legge espressa.



Per dimostrar la terza legge, cioè come il seno d'incidenza e quello di rifrazione sono in un rapporto costante sotto tutte le incidenze, rapporto a cui si dà il nome di *indice di rifrazione* (v. § 147), e che il piano che contiene il raggio incidente ed il raggio rifratto, passa per la normale condotta dalla superficie di separazione de'due mezzi al punto in cui concorrono questi due raggi; dal punto O, come centro, descriviamo con un compasso la circonferenza B F D G, affinchè tagli le direzioni dei raggi in I ed in C; abbassando dopo da questi due punti I C, sopra F G, le perpendicolari I N, C R, queste perpendicolari sono ciò che dicesi *seno* degli angoli I O F, C O G. L'esperienza di mostra, che le lunghezze di queste perpendicolari sono sempre negli stessi rapporti quando il mezzo in cui si muove il raggio luminoso è lo stesso, qualunque sia l' incidenza, e si dice *seno dell'angolo d'incidenza* la linea I N abbassata perpendicolarmente dal punto I, ove il raggio incidente taglia la circonferenza del cerchio su la linea F G, perpendicolare al piano B D che separa i due mezzi. E per la stessa ragione si chiama *seno dell'angolo di rifrazione* la linea C R, la cui posizione è analoga a quella del seno dell' angolo d' incidenza; il che è conforme alla 3ª legge espressa.

280. L'altra figura qui a lato può dinotare i seni degli angoli d'incidenza e quelli di rifrazione sotto diverse inclinazioni del raggio incidente. Così supposto il vaso di vetro emisferico $e\,p'\,e'$ pieno di acqua e la circonferenza del cerchio $e''\,p\,e'$, segnata col compasso dal centro e, la quale taglia la perpendicolare $p\,p'$ ed i raggi incidenti $l'\,l\,l''$, essendo i raggi rifratti $r'\,r\,r''$ tagliati dal contorno $e''\,p'$ del vaso; se i raggi incidenti vengono da' punti $l'll''$, abbassando da questi le perpendicolari $l'd'$, ld, $l'd'$ su la normale pp', comune a' due mezzi, si avranno da queste perpendicolari i seni degli angoli incidenti sotto i varii gradi di obliquità in cui son caduti i raggi su la superficie del secondo mezzo rifrangente, e le perpendicolari $r'\,f'$, $r\,f$, $r''f''$ abbassate su la stessa normale $p\,p'$, daranno i seni degli angoli rifratti.

281. Può pervenirsi allo stesso risultamento col soccorso dell' ombra che manda un fascetto luminoso allorchè incontra un corpo opaco nel suo cammino. Siano due paralellepipedi A B, B C congiunti ad angolo retto in B. Se un raggio di luce viene dal punto A, l'ombra che l'ostacolo AB manda sul piano BC sarà eguale a BD. Se situasi sul piano BC un vaso prismatico I N e e pieno d'acqua, si vedrà che l'ombra si porta indietro sino in F, perchè il raggio luminoso sarà rifratto passando dall'aria nell'acqua, e come questa è più densa dell'aria, deve avvicinarsi alla perpendicolare HG, alzata dal punto E. In questo caso AEG sarà l'angolo d'incidenza, ed FEH l'angolo di rifrazione. Si conoscerà l'angolo primitivo d'incidenza AEG eguale ad HED=BAD, misurando il lato AB e l'ombra BD, facendone dopo il calcolo. Per conoscere l'angolo di rifrazione si determinerà la linea H F, e perciò si misura H E, altezza del vaso, e B F ombra rifratta, o accorciata, calcolando HD col mezzo del triangolo HED, di cui si conosce l'angolo D, e se ne deduce il valore B H = BD—H D. Si avrà così H F = BF—B H, e di seguito quanto fa duopo per calcolare l'angolo di rifrazione H E F. Si troverà in questo caso, che il *sen.* d'incidenza è al *sen.* di rifrazione nel rapporto di 4 a 3, cioè il sen $a\,e=4$, ed il sen $c\,d=3$.

Il rapporto del *sen.* di rifrazione ed il *sen.* d'incidenza è co-

stante, qualunque sia l'inclinazione del raggio incidente, quando il mezzo che la luce lascia e quello in cui entra restino gli stessi.

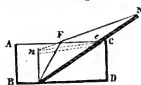
Il più piccolo valore dell'angolo d'incidenza è $=0$, e questo si ha quando il raggio cade perpendicolarmente su la superficie comune a'mezzi, perchè esso allora cade nella stessa direzione della normale che potrebbe alzarsi da questo punto incidente; e siccome il seno dell'angolo in questo caso è nullo, perciò esso è $=0$.

Il più grande valore dell'angolo d'incidenza è $=90°$, ed allora il raggio cade parallelamente alla superficie de' due mezzi, e poichè il seno di $90°$ è eguale all'unità, si avrà

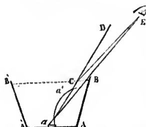
$$\frac{\text{sen. } a}{\text{sen. } b}=\frac{1}{\text{sen } b}=n, \text{ ovvero sen } b=\frac{1}{n}. \quad (\text{v. § 288.})$$

Il valore di b, che si è dedotto, è *l'angolo limite*, cioè il *limite dell'angolo di rifrazione*. Per l'aria e l'acqua, si ha $n=\frac{4}{3}$, e per conseguenza $b=48°35'$; la luce non può mai penetrare dall'aria nell'acqua sotto una obliquità più grande.

La stessa legge della rifrazione ci spiega alcuni fenomeni di conoscenza volgare. Così quando il bastone N E s'immerge in parte nell'acqua contenuta nel vaso A C B D, sotto l' influenza de' raggi solari, esso sembra rotto in e alla superficie del liquido, e l'occhio posto in N vede l'estremità E alzata in n, nel piano verticale che passa per N E; dal che segue, che essendo F il punto d'intersezione della retta N n col piano di livello del liquido A C, la luce che arriva in F dal punto E, s'inclina secondo la retta F N allorchè i raggi rifratti dall'acqua passano nell'aria.



Lo stesso fenomeno osservasi quando nell' altro vaso B′ B A′ A mettasi nel suo fondo in a una moneta, essendo questo vuoto, ed allontanandosi sino che la parete B A intercetti i raggi riflessi su la moneta e non fa più vederla; stando in quel sito l'osservatore, se allora si versa l' acqua nel vaso, egli vedrà la moneta un'altra volta, e tirandosi più indietro, sino che non più l'è visibile, se versasi più acqua, la vedrà un'altra volta, e così di seguito. In questo caso, quando non vi ha acqua nel vaso, la moneta invia i raggi riflessi in ogni direzione, gli uni a B so-



no intercettati dalla parete del vaso, gli altri *a* C D ec. son perduti per l'occhio posto in E, ma quando vi ha l'acqua nel vaso, il raggio *a* C D è rifratto, e prende la direzione C E. In questo caso si forma un caustico per rifrazione, e l'osservatore vede perciò la moneta *a* in *a'* al punto di tangenza del caustico e della retta C E.

Consideriamo ora un vaso pieno di acqua limpida; tutta la luce che arriva da diverse parti dell'orizzonte in un punto dato, è compresa in un cono del quale questo punto n'è il vertice, e di cui l'angolo al centro è due volte 48°, 35'. Se l'occhio dell'osservatore fosse in questo punto, e rivolto fuora del detto cono, non potrebbe avvertire alcuna luce diretta. E reciprocamente, quando la luce deve uscir dall'acqua nell'aria, si presenta allora sotto un angolo più grande che l'angolo limite, e perciò non può ucirne. In questo caso essa produce un fenomeno che si è detto *fenomeno della riflessione totale.*

I raggi dunque che non possono uscire per un eccesso della loro obliquità, si riflettono in totalità senza menomamente rinfrangersi, seguendo le leggi della catottrica, e questo è il solo caso in cui la luce possa riflettersi senza diminuire d'intensità.

282. *Miraggio.* Il fatto della riflessione totale, sotto certe incidenze, spiega tutte le varietà che presenta il fenomeno conosciuto col nome di *miraggio.* Le circostanze che concorrono alla sua produzione possono così riassumersi in una maniera generale: Quando i raggi luminosi traversano un mezzo di densità differente, com'è il caso della nostra atmosfera, la cui densità varia col variar la sua altezza o temperatura, tra gli strati più bassi ed i più alti la loro direzione deve, a ciascun istante, trovarsi modificata, ed in conseguenza que'raggi dovranno nel loro cammino descrivere una curva; come appunto succede della luce degli astri che attraversa la nostra atmosfera la quale descrive una curva, la cui concavità è dal lato dell'orizzonte. Per siffatta ragione le stelle ci sembrano più alte che non sono realmente, e noi le vediamo ancora su l'orizzonte nel momento che tramontano. Or quando due masse di aria di temperatura, e conseguentemente di densità differente, son separate da superficie assai distintamente determinate, la qual cosa non succede se non quando l'aria è tranquilla, i raggi di luce che vengono dallo strato più denso, cadranno sotto un angolo tanto piccolo da trovarsi quasi paralleli alla superficie che separa questo strato da quello meno denso, e perciò in questa superficie di separazione i raggi si riflettono totalmente, § 281, e producono le immagini per riflessione, il che cagiona poi il fenomeno che si è detto *miraggio.*

283. In generale tal fenomeno succede, quando una massa di aria che tocca il suolo, ovvero la superficie del mare, che in

certi luoghi trovasi più riscaldata, e per conseguenza meno densa dello strato superiore, come è per la nostra atmosfera da alto in basso, in cui gli strati superiori sono successivamente meno densi degl' inferiori, la superficie della terra verso l' orizzonte somiglia ad un lago tranquillo, ed essa riflette allora le immagini degli oggetti alquanto lontani capovolti. Che se il fenomeno osservasi in mare, lo strato più caldo o meno denso è superiore a quello ch' è meno caldo; i navigli che vi corrono verso l'orizzonte si vedranno ripetuti da immagini capovolte, e come se fossero sopra di essi. Ed in ultimo, ove le masse di aria di densità differenti fossero allo stesso livello e separate da piani verticali, gli oggetti allora si vedrebbero raddoppiati, e le loro immagini dritte non già capovolte come nel caso de'piani orizzontali. Questa varietà del miraggio succede qualche volta su le spiagge del mare, ove l' aria che trovasi sopra il suolo e quella che è sopra le acque possono ritenere temperature, e per esse densità differenti, il che può avvenire quando l'aria è tranquilla e che ne ritarda la mescolanza di quegli strati.

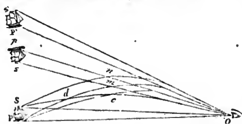
Cosi supponiamo un raggio che parta dal punto *a* ed arrivi direttamente all' occhio dell'osservatore posto in *o*. L'altro raggio che viene per la retta *a b*, deve traversare successivamente gli strati di aria *b c*, *c d*, *d e*, *e f*, il perchè passando da mezzi più densi ne' meno



densi, nel rifrangersi, si allontana dalla normale, sino che in ultimo la sua inclinazione descrivendo una curva arrivi al punto da doversi riflettere in *f*, per giungere in *o*, e perciò l' osservatore l'immagine di *a* la vedrà in *a'* e capovolta. I raggi dunque che si rifrangono successivamente passando da mezzi più densi nè meno densi, o dagli ultimi a' primi, descriveranno sempre una curva, come avviene de'raggi degli astri che attraversano l'atmosfera da alto in basso, o per que' riflessi nella superficie del suolo, o delle acque sotto certe date incidenze, e che passano dagli strati più caldi, cioè meno densi che toccano il suolo, negli strati superiori meno caldi, cioè più densi ec. (1).

(1) Questa illusione fu funesta all'armata francese che nel 1799 invase l'Egitto. Percorrendo i soldati un suolo arido e sabbioso sotto un calore ardente, dopo lunghe e penose marce si morivano divorati dalla sete. Tutti gli oggetti posti ne' luoghi poco elevati dal suolo sembravano circondati di acqua. Un monticello, un villaggio lontano ec., pareva alzarsi in mezzo le acque di un lago, e presi da ardente sete, comunque estenuati, correvano in folla per dissetarsi, ma quella crudele illusione facevali ben presto uscir d'inganno, perchè giunti ove

284. Il fenomeno del miraggio, che come si è detto si riduce al *raddoppiamento* ed *arrovesciamento* delle immagini, era da lungo tempo noto a' marini, i quali avevano, in alcune circostanze, veduto offerire i navigli lontani due immagini, una che li rappresentano nella loro posizione naturale, un'altra capovolti, come si vede nell' altra figura qui sotto S P è il naviglio nella sua posizione reale, con la sua immagine *p s* capovolta, e la sua immagine diretta S' P veduta in aria. Se non succedesse rifrazione, i raggi verrebbero dal naviglio S P all' occhio in O nella direzione delle rette S O, PO, ma in virtù de' cangiamenti di densità a' quali van soggetti gli strati inferiori dell'atmosfera, i raggi si curvano seguendo le linee P *c* O, P *d* O, S *m* O, S *n* O. Un oggetto dunque essendo veduto nella direzione della tangente al punto del raggio che incontra l'occhio, deve il punto P del naviglio reale vedersi in *p* ed in P', ed il punto S in *s* ed in S'; e poichè tutti gli altri punti sono spostati nella stessa maniera, ne segue che l'immagine capovolta *ps*, e l'immagine diretta P' S' del naviglio debbono formarsi nell'aria sopra il naviglio reale. Lo stesso fenomeno erasi da gran tempo osservato in alcune vaste pianure nelle quali l'orizzonte apparente vedevasi da tutt'i punti, e la cui superficie del suolo trovavasi considerevolmente riscaldata da' raggi solari, come è in quelle contrade piane del basso-Egitto, in alcune spiagge dell'Oceano, del Mediterraneo ec. La sera ed il mattino, cioè verso il tramonto ed il sorger del sole, l'aspetto del paese è tale com' è la disposizione degli oggetti alle loro distanze relative, ma quando il suolo si è riscaldato



credevano trovare il lago, questo fuggivali dinanzi per mostrarsi più lontano, come succede nelle nebbie che sembrano dileguarsi ad ogni passo, e così essi provavano il vero supplizio di Tantalo.

Il barone Larrey, chirurgo in capo dell'armata di Oriente, così racconta nella sua opera su l'Egitto l'effetto che il miraggio produsse su i soldati » Vaste pianure acquose sembravano offrirci il fine de' nostri mali, ma queste invece contribuivano ad immergerci in maggiori tristezze. L'abbattimento e la prostrazione delle nostre forze furono spinte presso i nostri bravi all' ultimo grado. Chiamato da alcuni per soccorrerli, la mia opera diveniva inutile, e col più vivo dolore li vedeva morire come per asfissia. L'uno di essi mi diceva negli ultimi istanti di vita, che si trovava in una sussistenza piacevole inesprimibile. Non pertanto pervenni a rianimarne molti con poc'acqua dolce in cui versava qualche goccia di spirito di vino che portava sempre meco in un piccol otro di cuojo.

per effetto della presenza del sole, il terreno, a certa distanza, sembra come terminato da una inondazione generale, e perciò la sua superficie presenta l'aspetto di un lago. I villaggi che sono più lontani appariscono come tante isole poste in mezzo le acque, e sotto ciascun villaggio si vede la sua immagine capovolta, come se fosse effettivamente nell'acqua; ma a misura che l'osservatore più si avvicina, i limiti di questa apparente inondazione si allontanano, come succede della nebbia, il lago immaginario sembra farsi indietro, l'immagine del villaggio a poco a poco si dilegua, e l'illusione si produce sopra l'altro villaggio che è più lontano ec. (1)

285. Il miraggio sul mare fa vedere de'scogli e de'banchi che sono sotto le acque, come se fossero su la superficie. I marini Svedesi cercarono invano e lungamente una pretesa isola magica che da tempo in tempo mostravasi fra l'isola *Aland* e quella di *Upland*, e questa non era che un grande scoglio alzato su le acque apparentemente per effetto del miraggio. Altre volte gl'Inglesi han veduto con sorpresa dalla loro spiaggia quella di Calais, e quella di Boulogne avvicinarsi apparentemente. Il Dottor Vinci, che era a Ramsgate, presso a poco a 60 piedi sopra il livello del mare, fu sorpreso nel 6 agosto 1806 quando, nel guardar Douvres verso 7 ore della sera, vide non solo le quattro torri del castello come all'ordinario, ma lo stesso castello in tutte le sue parti sino

(1) Un miraggio assai straordinario fu veduto nel 1835 dagli abitanti delle campagne dell'Agar, una delle colline del Mendio, in Inghilterra, senza che si avesse potuto scorgere ove si trovassero realmente gli oggetti riflessi. Verso 5 ore di sera si vide nel cielo coperto di vapori assai densi numerosissima raccolta di truppe a cavallo che sembravano avanzarsi ora al passo ordinario, ora al gran galoppo. I cavalieri con la sciabola in mano erano tutti uniformemente armati in guerra, e si distinguevano sino le briglie e le staffe de'cavalli. Durante qualche tempo, si videro ancora manovrare sei di fronte, poi fermarsi in due ordini ec. Questo straordinario spettacolo divenne soggetto di discorso in tutte le conversazioni nella città di Bristol.

Altro fenomeno assai singolare, dipendente parimenti dal miraggio, fu osservato da Stephenson vicino Tirhout, nelle Indie inglesi. In una vasta pianura deserta, ove eranvi piccoli prati per nudrire gli armenti che vi passavaoo, verso 3 ore pomeridiane, ciascun oggetto sembravagli 5 a 6 volte più graude del naturale; gli uomini e gli animali somigliavano esseri giganteschi che camminavano a gran passo, ed alcuni pareva che stassero su i tramboli. La testa di alcuni bufali vedevasi più grande del loro corpo, ed altri vedevansi tanto in alto, che le loro gambe sembravano tronchi di palme. Siffatte bizzarre apparenze variavano col movimento di quegli oggetti, in modo che gli uomioi e gli animali cambiavan forme a ciascun'istante, come fanno le ombre. Essendosi Stephenson abbassato per guardar l'orizzonte, vide distintamente una sorte di vapore azzurriccio e trasparente che aveva un moto ondulatorio, e perciò credè dover esso contribuire alla produzione di quel miraggio. I naturali di quelle contrade che dicono *Malaria* quel fenomeno, non proseguono a vederlo dicendo, che colui che l'osserva ne muore subito dopo. E poichè quella pianura confina all'est con estesi pantani, Stephenson attribuì alle esalazioni paludose la cagione della *Malaria*, e siccome queste sooo nocive, come tutte quelle delle acque stagnanti, così la inquietitudine degli abitanti vicini non era senza ragione, comunque ne avessero altrimenti creduta la causa.

alla base, e così distintamente che parevali trasportato su la collina dal lato di Ramsgate. Il fenomeno, che frequentemente mostrasi nello stretto di Messina, e che i Siciliani attribuirono alla *Fata Morgagna,* è ancora un effetto del miraggio. Lo spettatore posto su la riva opposta, vede sul piano inclinato che forma la marea nello stretto, le immagini delle case e de'navigli capovolti, ed ora confusamente raddrizzati, che sembrano presentar l'aspetto di oggetti veduti in aria. Questa illusione è accompagnata sovente da splendore straordinario, ma essa è prodotta, come le altre or dette, dalle stesse cagioni, cioè dal miraggio.

Nelle dense nebbie che covrono le spiagge orientali della Mantchcourie (Tartaria chinese) in Asia, si ha sovente un illusione ottica che produce l'immagine delle coste più alzate ed estese; il navigatore crede avvicinarvisi e potervi sbarcare, ma queste coste fantastiche si dileguano per mostrarsi più lontane. Ma quantunque questo fenomeno fosse di conoscenza assai remota, e comune nelle contrade calde ed aride, come sopratutto in quelle dei desèrti dell'Affrica ec., nondimeno prima di Monge, non vi si era data sufficiente spiegazione.

286. Diodoro da Sicilia racconta, che quando l'aria è calma, essa sembra in que'luoghi piena di figure di animali, le quali sono alcune immobili, altre sembrano andare e venire in diversi sensi; alcuni sembrano fuggire altri seguir l'osservatore, ed in ultimo esse sono tutte di forme gigantesche, e niente sembra più sorprendere il viaggiatore quando nel veder la prima volta così straordinario fenomeno. Aggiunge ancora lo scrittore, che queste figure qualche volta sembrano lanciarsi su lo spettatore, ma quanto alla spiegazione del fenomeno, egli si limita a trovarne la cagione solo nella tranquillità dell'aria, e dice, che il suo riposo rende le esalazioni assai dense, e perciò le nubi spinte da'paesi vicini trovano certa resistenza che impedisce loro andare più avanti, dal che deduce, dover queste, prender quelle forme così variate. Quando poi queste nubi son pervenute nell'aria tranquilla, il loro peso le fa cader giù sul suolo sotto la forma che hanno, ed esse seguono la impressione che ne riceve colui che le osserva; ma aggiunge lo storico, non dover però credersi che il movimento di cui sembrano animate, muova da une volontà propria di asse nubi, ma sono gli uomini o gli animali che camminano in quelle contrade che le spingono avanti ad essi, e le fan seguire con l'aria che le circonda, e perciò quando si fermano o tornano indietro, non è sorprendente che il subito loro incontro scomponga quelle figure che sembrano circondar l'osservatore e le faccia dipoi dileguare. (1)

(1) Richard, *Histoire de l'Air.*

287. Questa ed altre vaghe ragioni date prima del 1797 avevan fissata appena l'attenzione de' fisici sopra così importante fenomeno. Huddart ebbe in qualche modo presentito la cagione che produceva siffatta illusione, ma la spiegazione datane da Monge, il quale seguì nel 1789 la spedizione Francese in Egitto, capitanata dal generale Bonaparte, soddisfece subito alle esigenze de'fisici, e perciò venne dopo generalmente ritenuta. Ecco come egli ne dà ragione nel primo volume della *Decade Egiziana*» Quando una gran pianura di sabbia trovasi esposta a'raggi di un sole ardente, il suolo se ne riscalda, e fa alzar la temperatura dello strato di aria col quale è in contatto, cosicchè questa trovasi ad una temperatura maggiore di quella degli strati superiori; d'allora la densità dell'aria in luogo di decrescere da alto in basso, va al contrario scemando dalla superficie del suolo sino ad una certa altezza, in modo che i raggi luminosi che vengono da un oggetto poco alzato sopra l'orizzonte, e che passano da uno strato più denso in un'altro che è meno denso, sono obbligati d'incurvarsi da basso in alto, dal che ne risulta che essi penetrano nell'occhio, assolutamente come se venissero da un oggetto posto di sotto di quello che li manda in senso inverso dal sito in cui si trova realmente. Si veggono perciò anche le nubi come se fluttuassero su la terra e ne riempissero il suolo o la pianura in cui succede il fenomeno, e da ciò deriva che questa somiglia ad un lago assai esteso.

Wollaston dopo questa teorica pervenne a produrre un miraggio artifiziale sopra una larga lamina di ferro rovente, ed egli l'osservò sopra i corpi veduti attraverso due fluidi differentemente rifrangibili soprapposti in un vaso trasparente.

288. *Valore dell'indice di rifrazione.* Il raggio incidente e il raggio rifratto sono in un piano perpendicolare alla superficie di rifrazione, e per la stessa sostanza vi ha un rapporto costante tra il seno dell'angolo d'incidenza ed il seno dell'angolo di rifrazione: questo rapporto è ciò che dicesi *indice di rifrazione*, e per ciascuna sostanza si avrà $n = \frac{\text{sen } a}{\text{sen } b}$;
n è l'indice di rifrazione, a l'angolo d'incidenza, b l'angolo di rifrazione, (v. § 146.).

L'indice di rifrazione essendo costante per la stessa sostanza, può servire per distinguere il potere rifrangente di un corpo da un'altro. Ma questa distinsione vale solo per le sostanze chimicamente pure, dappoichè se sono mescolate a materie eterogenee, il raggio luminoso prova una deviazione che dipende dalla resultante degli effetti de'differenti elementi del corpo così alterato.

Il potere rifrangente ne'differenti corpi o mezzi, dipende dalla loro densità relativa, ed esso è maggiore in que' che sono più

densi, ma per le ragioni esposte, questa legge non è rigorosamente esatta che per le sostanze chimicamente pure, e dipende ancora, alcune volte, dalla natura chimica del corpo. Così l' alcool e l'olio che sono meno densi dell'acqua, hanno un potere rifrangente più grande di quest'ultima; e siccome Newton osservò ne'corpi infiammabili una grande potenza rifrangente, fu indotto a supporre che nel diamante e nell'acqua si dovesse contenere un corpo infiammabile, come nel fatto venne dopo confermato da'chimici.

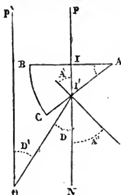
Biot ed Arago dedussero da molte sperienze, che il potere rifrangente di un corpo composto si compone presso a poco del potere rifrangente de'suoi elementi, nel rapporto della loro quantità; il perchè conosciuto il potere rifrangente di un corpo composto, può aversi qualche indizio su la natura e proporzione dei suoi elementi. Ma tali deduzioni debbonsi ritenere come approssimative solamente.

289. *Limite della rifrazione.* Tutte le volte che un raggio di luce passa da un mezzo più rifrangente in un altro meno rifrangente, l'angolo di rifrazione aumenta nello stesso tempo che l' angolo d' incidenza, ma in modo da esser sempre più grande. Or crescendo l'inclinazione del raggio, deve questa arrivare in un punto in cui l' angolo *minimo* di deviazione arrivi a 90°. In questo caso l'angolo d'incidenza diviene di una certa grandezza a minor di 90°, ed inconseguenza il raggio rifratto sarà parallelo alla superficie di separazione de'due mezzi. Tutt'i raggi dunque che fanno l' angolo d'incidenza compreso tra a e 90°, non potranno più traversare il mezzo meno rifrangente, e perciò saranno riflessi su la superficie di separazione, come nella superficie di uno specchio piano. Il *limite* a varia seguendo la differenza de'poteri rifrangenti de'due mezzi, di modo che se il potere di uno de'mezzi è conosciuto, quello dell'altro mezzo qualunque, meno rifrangente, potrà determinarsi cercando con l'esperienza l'angolo a, dentro il quale la luce è riflessa. Questo principio divenne la base del metodo ingegnoso di Wolloston col quale pervenne a determinare il potere rifrangente de' differenti corpi tanto diafani che opachi.

Il celebre fondatore della teorica dell'emissione, considerando isolatamente il fatto della rifrazione, era pervenuto a spiegarlo felicemente ammettendo, che le particelle de'corpi diafani, esercitino azioni attrattive su le molecole luminose. Ma da questa considerazione doveva seguirne, che l'indice della rifrazione sarebbe stato eguale al rapporto *inverso* delle velocità della luce ne' mezzi dentro cui succedeva la rifrazione, il che menava a dedurne, dover la luce camminare più presto ne' mezzi più rifrangenti, e più lentamente nel vuoto; ma siffatta conchiusione è direttamente opposta a quella ora dedottta da una serie di fatti

incontestabili, perchè rigorosamente osservati. Forse questa troppo manifesta contradizione ebbe più che le altre opere alla caduta della teorica Newtoniana dell'emissione, sostituendovi quella dell'ondulazione con la quale si dà ora esatta ragione degli stessi fatti e di quanti altri si attengono all'ottica, e forse la prima teorica fu ritenuta anche al dì là del confine che venivale assegnato da' progressi della scienza.

290. *Verificazione della legge di rifrazione pe'mezzi o corpi solidi.* Quando la luce penetra in un mezzo o corpo solido diafano omogeneo e non cristallizzato, come il vetro, adoperandoli in forme prismatiche ad angoli differenti con la stessa sostanza, l'indice di rifrazione trovato sarà lo stesso per tutti. Così tagliando la sostanza solida diafana che vuole esaminarsi in un prisma triangolare, e che B A C sia un piano perpendicolare a' suoi spigoli, facendo entrare in questo prisma un fascio di luce normalmente alla superficie B A, esso non sarà punto deviato dalla sua direzione; ma quando incontra la superficie A C, seguendo l'angolo d'incidenza che sarà eguale all'angolo A del prisma, verrà rifratto, ed il raggio I′ O così rifratto, si allontanerà dalla normale P N senza uscir dal piano BAC. Or supponiamo che il raggio incidente P *I* venga da un oggetto lontano, l'occhio posto in O lo vedrà per rifrazione nella direzione di I′ O, e direttamente nella direzione di P′ O, che può considerarsi parallela a P I′; l'angolo allora P′ O I′ = D, sarà l'eccesso dell'angolo di rifrazione sopra quello d'incidenza in I′; esso potrà misurarsi col mezzo di un cerchio ripetitore che si porta successivamente per le curve D, D′, A″, A′, ed il rapporto [sen. (A′+D′): sen A] sarà l'*indice di rifrazione*, nel passaggio della luce dall'aria nel prisma.



Facendo cadere sul prisma A B C nella stessa direzione P I un fascetto di raggi solari paralleli e di un colore bianco ed uniforme, nell'uscir questo dal prisma, si troverà composto di raggi che divergono un poco dal piano normale, e che hanno colori differenti. I più rifratti sono violetti; quelli che si allontanano meno, cioè i meno rifratti, sono rossi, ed in mezzo del fascetto luminoso i raggi sono verdi. Questo fenomeno, chiamato *dispersione della luce* si rapporta ad un'altra classe di fatti che esamineremo più innanzi nel trattar della *decomposizione* e *ricomposizione della luce*.

Nella rifrazione della luce la natura de' corpi diafani influisce molto ne'risultamenti. Così i prismi di differenti specie di vetro

fanno gli uni deviar più che gli altri i raggi di luce, cioè li rifrangono inegualmente; il che non succede nella riflessione della luce, essendo costantemente l'angolo d'incidenza eguale all'angolo di riflessione, qualunque sia la natura del corpo riflettore. Nella rifrazione dunque, ciascun mezzo differente opera su la luce secondo una legge che dipende dalla natura del mezzo (1).

291. Il rapporto quindi della rifrazione, o l'*indice di rifrazione*, non deve confondersi con ciò che i partigiani del sistema dell'emissione chiamano *potenza rifrattiva*, quantità eguale al quadrato del suo indice di rifrazione diminuito dell'unità, o $n^2 - 1$; nè col *potere rifrangente*, quantità che è il quoziente della sua potenza rifrattiva per la densità del corpo. Nel sistema dell'emissione, la potenza rifrattiva è l'accrescimento del quadrato della velocità che prende la luce passando dal vuoto ne' differenti corpi; perchè in questo sistema si deve inevitabilmente supporre che la luce aumenta di velocità passando ne'mezzi più rifrangenti, il che è poi in opposizioni con l'esperienza. Nel sistema delle ondulazioni questa stessa quantità dipende da' differenti gradi di condensazione dell'etere, il che è in accordo coll'osservazione.

La potenza rifrattiva può valutarsi in un modo assoluto e relativo. Così p. e. 1,326 e 0,785 sono le potenze rifrattive assolute del vetro e dell'acqua, o i valori di $n^2 - 1$, sopra indicato, che corrispondono a queste sostanze; ma dividendo il primo numero pel secondo, si avrebbe 1,690, che sarebbe la potenza rifrattiva del vetro per rapporto a quella dell'acqua.

Quando al potere rifrangente, essendo quello del vetro ordinario 0,533, e quello dell'acqua 0,785, volendo estimare il primo per rapporto al secondo, prendendo quest'ultimo per unità, si dovrebbe dividere 0,533 per 0,785, il che darebbe 0,679 pel potere rifrangente del vetro per rapporto all'acqua.

292. *Verificazione della legge di rifrazione de'liquidi.* Il potere rifrangente de'liquidi si determina mettendoli in prismi cavi fatti con lamine sottili di vetro a facce parallele quanto e possibile, a fin che la deviazione dipenda solo dal prisma del liquido. Ma come ciò riesce difficile se non impossibile a raggiungersi, si può prima misurar la deviazione nel prisma vuoto, e sottrarre questa dal prisma pieno del liquido che vuole sperimentarsi, ovvero aggiungerla per aver quella del prisma liquido solo, secondo che ha luogo nello stesso senso o in senso contrario.

292. *Verificazione della legge di rifrazione pe'gas.* Pe'gas si fa uso

(1) Nella teorica dell'emissione si riteneva che la potenza rifrattiva doveva essere proporzionale alla densità del corpo diafano, cosichè dividendo il suo valore per questa densità, il rapporto, al quale si dava il nome di *potere rifrangente*, doveva avere un valore indipendente dallo stato del mezzo, e dipendente unicamente dalla sua natura; dal che seguiva, che un liquido ed il suo vapore dovevano offrire il medesimo potere rifrangente. Ma le sperienze dirette, intraprese da Arago e Petit, dimostrarono non esser così.

similmente di un prisma cavo, ma di un angolo assai grande a fin di aumentare un poco la deviazione assai piccola ne'gas, pel debole loro rifrangersi. Il prisma deve esser costrutto in modo da permettere potersi in esso fare il vuoto, ed introdurvi i gas che vogliono sperimentarsi. Biot ed Arago servendosi di questo apparecchio operarono, come aveva fatto Newton, facendo uso del minimo di deviazione del raggio che traversava il prisma, tenendo conto della pressione e della temperatura. Essi trovarono, che la forza rifrangente del gas idrogeno sorpassa molto quella degli altri gas e delle altre sostanze sinora osservate. Or siccome l'idrogeno esiste in grande quantità nelle resine, negli olei e nell'acqua, venne perciò ad esso attribuita la gran forza rifrangente osservata da Newton nelle sostanze combustibili. I due fisici dedussero in ultimo, che *la potenza rifrattiva di uno stesso gas*, sotto diverse pressioni, *varia proporzionalmente alla sua densità*, o, ciò che è lo stesso, che il *potere rifrangente di un gas è costante ad ogni temperatura e ad ogni pressione.*

Dulong, partendo da questi risultamenti, trovò un mezzo più semplice per paragonare la rifrazione de' gas. Esso consiste nel diminuire o crescer la densità del gas che vuole sperimentarsi ne'prismi cavi sino che raggiungano lo stesso indice di rifrazione dell'aria, ovvero sin che la luce lo traversi senza sensibile deviazione, o più generalmente, sino che la deviazione sia la stessa di quella che manifesta il prisma pieno di aria ad una pressione determinata. Ecco i risultamenti ottenuti da Dulong su le potenze rifrattive de' gas e de' loro indici di rifrazione alla temperatura di zero ed alla pressione di 0,76 centimetri.

Nomi de' gas	Potenza refrat. per rapporto all'aria.	Potenza refrat. assoluta.	Indice di rifrazione.
Aria atmosferica . .	1,000	0,000589. . .	1,000294
Ossigeno	0,924 . . .	0,000544. . .	1,000272
Idrogeno	0,470 . . .	0,000277. . .	1,000138
Azoto	1,020. . . .	0,000601. . .	1,000300
Cloro	2,623. . . .	0,001545. . .	1,000772
Ammoniaca.	1,309. . . .	0,000771. . .	1,000385
Acido carbonico. . .	1,526 . . .	0,000899. . .	1,000449
Acido cloridrico. . .	1,527 . . .	0,000899. . .	1,000449
Ossido d' Azoto. . .	1,710 . . .	0,001007. . .	1,000503
Gas nitroso.	1,030. . . .	0,000606. . .	1 000303
Ossido di carbonio. .	1,157 . . .	0,000681. . .	1,000340
Cianogeno	2,832 . . .	0,001668. . .	1,000834
Gas oliofacente . . .	2,302 . . .	0,001356. . .	1,000678
Gas delle paludi. . .	1,504 . . .	0,000886. . .	1,000443
Etere cloridrico. . .	3,720 . . .	0,002191. . .	1,001095
Acido cianidrico . .	1,531 . . .	0,000903. . .	1,000451
Acido solforoso . . .	2,260 . . .	0,001331. . .	1,000665
Acido solfidrico. . .	2,187 . . .	0,001288. . .	1,000644
Etere solforico . . .	5,197 . . .	0,003061. . .	1,00153
Idrog. protofosforato.	2,682 . . .	0,001579. . .	1,000789 (1)

(1) I numeri della prima colonna sono il risultamento diretto dell'esperien–

294. Paragonando Dulong questi numeri, ne dedusse, come conseguenze generali; 1° che non si trova alcun rapporto tra i numeri che rappresentano le potenze rifrattive de'gas e quelli che rappresentano le densità di essi, perchè questi numeri crescono ora in uno stesso ordine, ora in un ordine inverso; 2° la potenza rifrattiva di un mescuglio gassoso è eguale alla somma delle potenze rifrattive de' suoi elementi. Così l'aria che è composta di 0,21 di ossigeno e 0,79 di azoto, si trova che la somma delle potenze rifrattive degli elementi è 0,99984, che differisce appena dall'unità. Dulong fece sul proposito sperienze dirette sopra differenti mescugli artifiziali per verificar questo risultamento, che serviva di principio alle sue ricerche, ma le differenze ottenute sembrano non accordarsi col principio esposto, dappoichè la potenza rifrattiva di un composto chimico gassoso è ora più piccola, ed ora più grande della somma delle potenze rifrattive de'suoi elementi, come lo dimostra il quadro seguente, in cui la prima colonna rappresenta le potenze rifrattive osservate, e la seconda le potenze rifrattive calcolate da quelle degli elementi che li compongono. La potenza rifrattiva dell'aria essendo eguale all'unità, cioè 1,000, quella degli altri fluidi elastici composti è come appresso.

Nomi de' gas	Potenza rifrat. osservata	Potenza rifrat. calcolata	Eccesso dell'osservazione sul calcolo.
Ammoniaca.	1,300	1,216	+ 0,093
Ossido di azoto. . .	1,710	1,482	+ 0,228
Gas nitroso.	1,050	0,972	+ 0,058
Acqua	1,000	0,933	+ 0,067
Gas clorossicarbonico	3,936	3,784	+ 0,015
Etere cloridrico. . .	3,720	3,829	— 0,099
Acido cianidrico . .	1,521	1,651	— 0,130
Acido carbonico. . .	1,526	1,629	— 0,093
Acido cloridrico. . .	1,527	1,547	— 0,020

Come osservasi dunque nella terza colonna, le differenze sono troppo sensibili perchè possa considerarsi il principio esposto come rigorosamente esatto, cioè in accordo coll'esperienza; e perciò esse tengono a cagioni che lo stesso Dulung non potè conoscerle, non già a difetto di purità in cui erano le sostanze adoperate, essendo assai nota la grande esattezza che egli metteva in tutte le sue sperienze.

Arago e Petit, dopo varie sperienze dirette stabilirono, che il potere rifrangente di una sostanza allo stato liquido, è più gran-

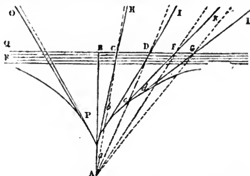
za; moltiplicandoli Dulong per 0,000589, potenza rifrattiva assoluta dell' aria atmosferica, si hanno i numeri della seconda colonna, cioè $n^2 - 1$. Per averne dopo gl'indici di rifraziona basta aggiungera l'unità ed estrarne la radice quadrata.

de del potere rifrangente della stessa sostanza allo stato gassoso, Dulong confirmò lo stesso principio sopra altre sostanze.

Caustici per rifrazione.

295. Al § 287 si è trattato dei *caustici per riflessione;* esamineremo ora i *caustici per rifrazione*, i quali derivano similmente dall'incontro dei raggi che si tagliano in certi punti allorchè rifratti s'incontrano sotto certe date incidenze.

Supponiamo un punto luminoso in A, che fosse posto nell' acqua ovvero in altro mezzo diafano qualunque, esso allora dovrà inviare i raggi A B, A C, A D, A F, ec. Il primo raggio A B, ch' è



perpendicolare alle superficie del corpo rifrangente, passa senza rifrangersi, ma gli altri che vi cadono obliqui, sono rifratti facendo il seno dell' angolo di rifrazione a quello dell'angolo d'incidenza in un rapporto costante, e prendono le direzioni CH, DI, FK ec.; questi raggi dunque divergono più di prima, dopo la loro rifrazione; dappoichè il raggio A F p. e., essendo più obliquo che A D, si allontana proporzionalmente più di esso dalla perpendicolare A B, e lo stesso succede per gli altri raggi situati più dappresso A B, ec. I raggi rifratti, prolungati coll'immaginazione, debbono incontrarsi in differenti punti nel liquido che traversano, e per la loro intersezione determinar la linea poligonale *a b c d*. Or siccome i differenti raggi che partono dal punto A sono assai prossimi gli uni agli altri, i lati *a b*, *b c*, *c d*, ec., sono similmente assai piccoli, e la linea poligonale è una curva continua, di cui nella figura ve n'ha un altro ramo alla sinistra di A B. Si comprende ora agevolmente, che inviando il punto luminoso A raggi divergenti tutt'intorno a se stesso, deve formarsi, per le intersezioni de'raggi rifratti, una superficie curva continua di cui la figura ne rappresenta solo una curva che va per traverso. Queste curve si dicono *caustici* per *rifrazione*, e lo svolgimento della loro teorica si appartiene al-

l'ottica analitica. Ma per farsi un idea de'caustici per rifrazione, basta metter dietro un bicchiere pieno di acqua una candela ad una certa distanza, perchè si vedrà, guardandola dal lato opposto, formarsi avanti tante curve luminose come quelle descritte.

296. L'effetto de'caustici per rifrazione dà ragione delle immagini vedute per rifrazione, e perchè noi vediamo il mattino il sole prima che esso sia realmente su l'orizzonte, e la sera lo vediamo ancora, quantunque ne fosse in sotto. In generale l'effetto della rifrazione è sempre di alzare un astro sopra il suo vero punto in cui si trova. Anche gli oggetti terrestri provano l'opera della rifrazione, e perciò essi ci sembrano più in alto e più prossimi. A queste stesse ragioni dobbiamo il fenomeno che presenta il sole e la luna nel loro levarsi, quello cioè che essi appariscono ovali; dappoichè la rifrazione che patiscono i raggi, tende ad alzarne gli estremi superiori ed inferiori del loro disco, ma il lato inferiore è più alzato del lato superiore, perchè i suoi raggi traversano uno strato di aria più denso, e perciò noi vediamo l'astro schiacciato nel senso del suo diametro verticale.

La rifrazione è anche cagione del *crepuscolo*, cioè di quella luce che noi riceviamo ancora dal sole quantunque esso fosse sotto l'orizzonte. Essa obbliga i raggi che sarebbero perduti nello spazio ad incurvarsi su la terra, e quanto più la densità dell'aria è considerevole, più la rifrazione è forte e più lunga, e per conseguenza la durata del crepuscolo. Il perchè ne'paesi freddi, cioè che più si approssimano a' poli, ove in alcuni le notti sono di 6 mesi, si veggono i crepuscoli durar più giorni.

In generale più il mezzo è denso più il raggio è curvato. E poichè col barometro si dimostra che la densità dell' atmosfera decresce coll' altezza, a partir dalla superficie terrestre, le sperienze dirette confermano che la potenza rifrangente dell'aria aumenta con la sua densità. Ma poichè la temperatura ed il vapore acquoso possono, indipendentemente dall' altezza, far variare la densità dell'aria, ne segue che se la temperatura è uniforme e non vi ha vapore acquoso, la potenza rifrangente scema a misura che si alza sopra la superficie della terra (V. Barometro al vol. I.).

Delle lenti.

297. In ottica si dicono *lenti* o *vetri*, i dischi di forma variabile fatti con corpi solidi meglio diafani, in cui almeno una delle due facce è curva, sia concava o convessa, e servono a rifrangere i raggi luminosi, ed alla composizione degli strumenti di ottica i quali, quando son fatti da sole lenti, si dicono *strumenti diottrici*, e se compongonsi con specchi e lenti, si chiamano *strumenti cato-diottrici*. Sembra che Bacone abbia il primo parlato delle

proprietà de' vetri così terminati da superficie curve, i quali ora fan vedere più grandi, ora più piccoli quegli oggetti che non son tali realmente. Questi vetri si dissero lenti a cagione della somiglianza che hanno con le lenticchie o lente civaja ec.

Le lenti si dividono in *lenti* o *vetri convessi*, o di *convergenza*, e *lenti o vetri concavi*, o di *divergenza*. La più parte son fatte di vetro (crow-nglass) o di cristallo (flint-glass) inglese, che si reputano i più diafani ed omogenei nella loro massa. Le lenti adoperate da Fresnel ne'fari a rifrazione, come vedremo più avanti, non formano una curva continua, ma più curve che si alternano, e perciò le disse *lenti a scaglioni*.

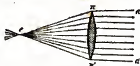


298. Le lenti, che si vedono qui sopra, disposte in due serie, si dividono, le *convergenti*, in doppiamente convesse o *biconvesse*, o *lenticolari* A, *piano-convesse* B, *concavo-convesse* C; le seconde, cioè le *divergenti*, in doppiamente concave o *biconcave* D, *piano-concave* E, *convesso-concave* F. Una lente convessa dicesi anche comunemente *menisco convesso*, e la concava *menisco concavo*.

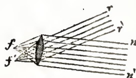
Quando un raggio di luce penetra in una sfera trasparente, si rifrange e continua a camminar seguendo la nuova sua direzione in tutta la massa della sfera, ma nell'uscirne patisce una nuova rifrazione. Il mezzo allora che separa le due superficie, la immergente cioè, e la emergente, estinque una gran quantità di raggi, perciò questi non hanno più parte alla rifrazione, perchè questa succede solo nell'entrata e nell'uscita de'raggi. Il perchè conservando le due sole superficie o segmenti superiori ed inferiori, si avrà una lente rifrangente che estingue minor quantità di raggi. Il nome di lente viene appunto dalla forma che risulta dalla soprapposizione di questi due segmenti della sfera, paragonandole, come si è detto, alle lenticchie ec.

Si chiama *raggio* della curva di una lente, il semi-diametro della sfera di cui la lente n'è il segmento; *asse*, la retta o linea matematica che riunisce i due centri di due curve di due superficie, e *centro ottico*, un certo punto situato su l'asse e nell'interno della lente, il quale ha la proprietà, che tutt'i raggi luminosi che vi prendono origine, nell'uscir dalla lente, dopo essersi rifratti prendono una direzione parallela a quella che hanno quando vi entrano.

299. *Lenti convergenti* — Quando i raggi a a' cadono paralleli su la lente biconvessa $n n'$, ne escono convergenti e si riuniscono dietro di essa nel punto e, che si è detto *foco principale*, e da ivi essi divergono in ogni direzione, come se partissero da un corpo luminoso situato in questo stesso punto. In una lente assai convessa non tutt'i raggi che vi cadono arrivano in questo punto, dappoichè molti di essi compongono serie di linee le quali, intersecandosi, si riuniscono ne'punti più prossimi e formano *caustici per rifrazione*, § 195, come quelli che succedono per riflessione, § 277. Ma se la curva della lente è poco sensibile, quasi tutt'i raggi arrivano nel suo foco principale.



300. Ove poi i raggi cadessero obliquamente, come da $r r'$, il foco cambia con la direzione de'raggi, e si trova nella direzione di essi, cioè in f', ma i varii fochi che possono nascere da un vario grado di obliquità de'raggi, son posti tutti alla stessa distanza del centro della lente.



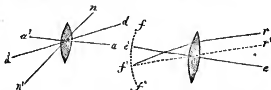
Per trovare il foco di una lente, vi si riesce praticamente osservando l' immagine che i raggi solari n n' che l' attraversano fanno contro un ostacolo, quindi allontanandola o avvicinandola a poco a poco sin che si vede più piccola in f, e nella massima chiarezza; o che le ombre degli oggetti che vi rappresenta, si fanno più intense e distinte, sarà ivi il suo foco principale, del quale potrà facilmente misurarsene la distanza alla superficie convergente. Ma se l'obliquità de'raggi fosse tale da far con l'asse che passa per questo foco un angolo maggiore di 10 a 12 gradi, i raggi allora del fascio luminoso non più convergeranno esattamente nello stesso punto, perchè vi ha *aberrazione di sfericità*. E poichè la concentrazione de'raggi succede meglio quando essi passano più vicino l'asse della lente che verso la estremità della sua curva, per aver più nettezza nelle immagini, si covrono gli orli della lente con un corpo opaco affinchè essa riceva i soli raggi che son poco inclinati all'asse, e così l'aberrazione di sfericità viene distrutta.

Nelle curve che più si avvicinano alla sfera, tutt' i raggi che partono da un punto qualunque non formano un foco nello stesso punto, perchè succede anche aberrazione di sfericità, inconveniente che può evitarsi adoperando lenti con curve paraboliche, essendo in queste, i raggi emanati da un punto luminoso, paralleli. Si riesce anche meglio a toglier siffatto inconveniente adoperando le lenti a scaglioni, composte ciascuna di una

lente ordinaria piano-convessa e delle parti di lenti sfero-prismatiche anulari, come son quelle adoperate da Arago e poi da Fresnel ne' fari a rifrazione, come diremo più avanti.

301. Il cammino de'raggi non paralleli può teoricamente stabilirsi dietro la proprietà che ha il centro ottico della lente, quella cioè, che tutt' i raggi che vi passano seguono la loro direzione primitiva. E poichè ogni raggio comunque inclinato dovrà passar sempre per lo stesso foco che il raggio che l' è parallelo e che anche traversa il centro ottico della lente, deve perciò esso, nell'uscirne, prender la direzione del foco principale della lente. Or essendo conosciuto questo foco, è facile trovar la direzione del raggio, qualunque sia la sua incidenza.

Così come osservasi nella prima figura, qui sotto,



o è il centro ottico della lente, *a' a* il suo asse, *dd'*, *nn'* i raggi che passano per questo centro, e che seguono la direzione primitiva.

Nella seconda figura essendo anche *o* il centro ottico, ed *f f''* la linea de'fochi della lente, si domanda che diverrà il raggio *r* alla sua uscita dalla lente? Supposto che sia il raggio *r'* che esca dalla lente, essendo il raggio *r'* parallelo ad *r*, passando pel centro *o*, anderà a tagliar la linea de' fochi in *f'*, nel punto ove vedesi congiunto il raggio rifratto *r*, e perciò questo dovrà passare per lo stesso foco *f'* e prender la direzione di *r f'*.

302. Gli effetti prodotti dalle lenti convesse possono così compendiarsi in generale:

Quando l'oggetto è posto a distanza quasi infinita, come un astro ec., i raggi che cadono su la lente, vi arrivano sensibilmente paralleli, e l'immagine che si fa dietro, trovasi in un certo spazio limitato, la cui estensione varia con la superficie della lente; se quella si riceva sopra un ostacolo al punto del foco principale, essa allora è più piccola, ma più distinta; questo punto si è detto il suo foco, e la sua distanza più prossima alla superficie della lente, è la *distanza focale*. Se rivoltasi la lente, lo stesso succede, il che prova che una lente convessa ha due fochi, che sono egualmente lontani dalle due superficie le quali, se hanno un medesimo raggio, per le lenti le cui facce non sono perfettamente simmetriche, queste distanze sono differenti.

Se il punto luminoso o l'oggetto rischiarato è posto al foco della lente, i raggi che vi cadono divergenti ne escono paralleli dietro l'altra superficie e si perdono all'infinito, il perchè la sua immagine non si trova in alcun punto, ma osservasi solo uno splendore che consiste in gran parte in raggi paralleli i quali rischiarano gli oggetti lontani.

Se la fiamma della candela o l'oggetto è posto avanti la superficie della lente convessa, ma più dietro la sua distanza focale, l'occhio posto dalla superficie opposta, vede la fiamma farsi più grande, e la grandezza e l'allontanamento aumentano a misura che si fa indietreggiar la luce o l'oggetto che era avanti la lente.

Se la fiamma o l'oggetto si portino più avanti la distanza focale, si vedrà l'immagine più grande, ma capovolta, ed a misura che l'oggetto più se ne allontana, l'immagine si avvicina al foco posteriore della lente e si fa più piccola. Se la fiamma è posta a distanza doppia della distanza focale, l'immagine si trova alla medesima distanza, ed ha la stessa dimensione della fiamma; ove poi si allontani maggiormente, l'immagine si avvicina e si fa più piccola, e se portasi assai più lontana essa cade nel foco della lente. Lo spazio dunque in cui una lente convessa brucia i corpi, è l'immagine del sole che si forma al suo foco, e perciò questa proprietà ha fatto dare a queste lenti il nome di *vetri ardenti*.

Se l'oggetto è posto a distanza doppia della distanza focale nell'immagine che avrà la stessa grandezza dell'oggetto, i punti estremi dell'oggetto si riproducono capovolti co' punti estremi dell'immagine, allo stesso modo che si è detto al § 253, e perciò quest'immagine rappresenterà l'oggetto capovolto e della stessa grandezza. Che se l'oggetto trovasi più lontano del doppio della distanza focale, l'immagine si fa più piccola a misura che l'oggetto più se ne allontana, perchè i raggi estremi dell'oggetto convergendo dietro la lente, daranno un immagine più piccola e capovolta.

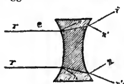
Se l'oggetto è situato tra il foco e la superficie della lente, i fochi congiunti saranno dallo stesso lato della lente, ma più lontani, e l'immagine prodotta sarà più grande e lontana, e tanto maggiormente per quanto l'oggetto più si avvicina al foco principale della lente.

Ed in ultimo, nelle diverse posizioni dell'oggetto e l'occhio, la lente dovrà essere ad una distanza determinata dall'occhio, dappoichè la distanza dell'occhio all'immagine deve essere eguale a quella della *visione distinta*. In una lente convergente vi è un *maximum* d'ingrandimento che non può andare più oltre, quando si vuole che l'immagine sia assai precisa; il che si raggiugne mettendo l'oggetto assai avanti del foco principale, affinchè l'immagine sia respinta alla distanza della visione distinta,

che d'ordinario è circa 22 centimetri, situando l'occhio prossimamente alla lente; senza queste condizioni, una stessa lente sarebbe suscettiva di dare un ingrandimento indefinito, dappoichè a misura che l'oggetto si avvicina al foco principale, la sua immagine si fa più grande e più lontana. Nel caso poi del *maximum* d'ingrandimento, trascurando la distanza dell'oggetto al foco principale, e la distanza dell'occhio alla lente, allora l'immagine è all'aggetto come la distanza della vista distinta è alla distanza del foco principale (1).

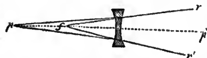
Lenti divergenti o concave.

303. L'effetto delle lenti *divergenti* è di rendere più divergenti i raggi che le traversano. Nella figura di lato può vedersene l'effetto generale. Così *rr* rappresentano i raggi incidenti; *r' r''*, i raggi rifratti; *n n'* le linee normali a'punti d'incidenza. I raggi dunque nell'uscir da una lente concava divergono allontanandosi sempre maggiormente senza mai incontrarsi. Quando un punto raggiante è ad una distanza quasi infinita, nella direzione dell'asse di una lente di divergenza, i raggi ne escono come se venissero da un punto situato su l'asse della lente, e dallo stesso lato del punto raggiante per rapporto alla lente. Così i raggi paralleli *rr* quando cadono su la lente biconcava che vedesi nell'altra fig. ne escono divergenti allontanandosi di più in più per le stesse rette indefinitamente. Una simil lente non ha un foco reale, ma immaginario, che si dice *foco virtuale* per distinguerlo dal foco reale delle lenti convergenti, ed è il punto *f*, ove verrebbero ad unirsi tutt' i raggi resi divergenti se proseguissero a camminare nella direzione di *f*, che taglia l'asse della lente in questo punto.





Se da un punto luminoso *p*, è posto avanti una lente biconcava, i raggi ne escono dietro più divergenti nella direzione di *r r'*; il loro foco virtuale sarà in *f*, nella direzione dell'asse *p p'* della lente. L'occhio che riceve questi raggi nel fascio divergente *r r'*, vede



(1) Può facilmente determinarsi la distanza a cui l'oggetto dev'essere situato avanti la lente per vedersi distintamente. Così chiamiamo *a* la distanza della

il punto luminoso in f, e perciò lo crede più prossimo che non è realmente in p.

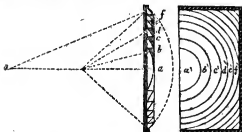
Quando i raggi luminosi riflessi da un oggetto passano a traverso una lente biconcava, essi formano immagini dritte che sono più vicine e più piccole che non sono gli stessi oggetti. La distanza in cui trovasi l'oggetto non porta altra modificazione al fenomeno se non quella di far vedere l'immagine un poco più lontana dietro la lente, a misura che l'oggetto se ne allontana maggiormente; ma il limite estremo che può raggiunger l'immagine stà nel foco anteriore, ed è ove appariscono gli oggetti quando sono ad una grande distanza.

Ed in ultimo, la distanza a cui deve situarsi l'occhio dietro la lente varia per ciascun'individuo, dappoichè per ben vedere, fa duopo che i raggi cadano su l'occhio con una certa incidenza, e perciò la distanza che meglio convenga non è la stessa per tutti gl'individui.

Lenti a scaglioni.

304. Buffon ed altri fisici avevano creduto potersi formare altre lenti composte, ma ripigliando Fresnel questo soggetto, nello scopo di applicarle a'*fari*, ora detti a *rifrazione*, pensò sostituire i vetri ardenti a' specchi parabolici prima adoperati, e così fu condotto a perfezionare i grandi *vetri lenticolari;* e perchè le parti delle lenti del suo apparecchio non formano tutte una curva continua, si dissero perciò *lenti a scaglioni.*

La figura qui sotto rappresenta una *lente anulare* tagliata in



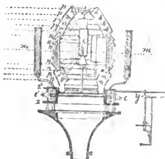
mezzo. Si compone questa del segmento di sfera a intorno al quale son disposti più anelli $b\,c\,d\,e\,f$, fatti con prismi triangolari

vista distinta, f la distanza focale principale della lente, ed x la distanza a cui deve mettersi l'oggetto. Dovendo evidentemente le distanze a ed x appartenere a'fochi congiunti, poichè essi sono dallo stesso lato della lente, si avrà,

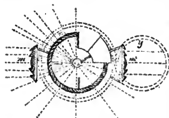
$$\frac{1}{x}-\frac{1}{a}=\frac{1}{f},\ \text{quindi}\ x=\frac{af}{a+f}$$

di cristallo, di cui se ne vede il taglio in b' c' d' ec. La curva di questi anelli è calcolata in modo, che ciascuno di essi abbia lo stesso foco *f* del segmento *a*, e così dalla fiamma della lampada posta in *f*, tutta la luce che arriva su la lente da ciascun punto, dopo averla traversata, forma un largo fascio luminoso che è quasi parallelo all'asse *a o*, e lo sarebbe rigorosamente se tutt'i punti luminosi della fiamma potessero essere esattamente alla distanza focale principale. Nondimeno l'indebolimento dell'intensità della luce avvenendo in ragione della divergenza de'raggi di uno stesso fascio luminoso, ed in ragione della divergenza degli assi de'diversi fasci, ne risulta che dev'esser poco considerevole. Le lenti ordinarie biconvesse potrebbero produrre lo stesso effetto, perchè si è detto che stando il punto luminoso nel loro foco principale, i raggi ne escono anche paralleli, ma come il loro diametro può esser di 12 a 15°, e quelle degli anelli della lente di Fresnel son calcolati per un'apertura di 40°, le ultime debbono ricondurre nella stessa direzione nove volte più di luce; ed essendo meno spesse ne assorbono ancora meno delle altre. Partendo Fresnel da questi principii, variando solo le forme de'vetri rifrangenti, ed imprimendole un moto di rotazione regolare, pervenne a comporre il nuovo sistema d'illuminazione ne'fari, la cui superiorità su l'antico è ora confirmata dall'esperienza, è perciò si sono generalmente posti in uso.

305. La figura di lato rappresenta un faro o *foco di porti*. La luce viene da una lampada d'Argant che brucia 45 gramme di olio all'ora; il lucignuolo è circolare, ed ha due centimetri di diametro, e la fiamma ne ha 5 di altezza. Il sistema lenticolare o rifrangente, si compone di cinque anelli soprapposti, segnati dalle lettere *n*, la cui superficie esteriore ha una curva convenevole, ed il sistema riflessore si compone di 8 anelli prismatici segnati dalle lettere *p*, cioè 5 sopra, e 3 sotto, tagliati e disposti in modo, che la luce patisca su le loro facce più larghe una riflessione totale, nel mentre che essa esce ed entra per le altre facce sotto una piccola obliquità. Dietro questa combinazione, tutta la luce è ricondotta in uno strato quasi orizzontale e di una piccola spessezza, come lo dinota i raggi paralleli all'asse *mm* che escono da'prismi indicati, e perciò la luce viene mandata avanti con la stessa intensità in tutt'i punti del fascio luminoso, ed alla distanza di 12 a 15 leghe in mare. Fresnel



vi aggiunse dopo un sistema mobile, che è rappresentato nell'altra figura di lato in *m*, su l'elevazione e sul piano, e pervenne a produrre ecclissi periodici, che possono rinnovarsi regolarmente in un tempo dato, come 2, a 3 volte per minuto ec. e ciò per non confonder questa con altra luce. Questo sistema mobile si compone di due lenti cilindriche verticali, aggiustate sul piatto *zz*, posto in moto da un peso attaccato ad un sistema di orologio *y*, disposto convenevolmente sul piatto *e e*, per diminuire il loro confricamento, come vedonsi nell'antecedente figura, in cui è aggiustato il suddetto sistema mobile con le lenti *m m*, le quali hanno il loro foco nel centro della fiamma, come lo dinota la retta orizzontale che passa da *m m* attraverso la fiamma, e per la loro costruzione, ciascuna di esse riconduce in un sol fascio parallelo una gran parte della luce che spicca dalla lampada d'Argant. In siffatto modo due segmenti dell'orizzonte sono più rischiarati che le altre parti, e l'osservatore che trovasi nella direzione di uno di essi, riceve una luce assai viva, ma continuando una lente il suo moto di rotazione, succede un istante d'ecclissi sino che l'altra non giunga nella stessa direzione della prima. Variando così questi effetti, si perviene ad aver fuochi vicini sopra la stessa costa che possono distinguersi gli uni dagli altri per mezzo de' periodi differenti de' loro ecclissi e del loro massimo fulgore.



306. In un fuoco girante di 1° ordine, la luce è prodotta da quattro lucignuoli concentrici i quali bruciano 750 gramme di olio in ogni ora. Il sistema che riflette la luce è fisso, e quello che la rifrange è mobile. Il primo si compone di specchi di cristallo amalgamati, disposti in 8 strati superiori e 5 inferiori. Per comporre un cerchio con ciascuno strato, que'specchi si adoperano in pezzi in numero più o meno grande, in modo da formar la superficie osculatrice d'una paraboloide di rivoluzione, che ha la fiamma per foco, ed una linea orizzontale per asse; la luce allora che cade sopra questi specchi è riflessa orizzontalmente. Il sistema rifrangente è formato da 8 lenti anulari simili a quelle della figura del § 304, situate allo stesso modo sul piatto mobile, che vien posto in rotazione come nell'altro apparecchio descritto (§ 305).

Il quadro presente contiene i principali risultamenti che hanno relazione con i fuochi di 1, 2, 3, 4 ordine.

Ordine dei fuochi	Numero de' lucignuoli	Olio consumato in un ora	Altezza della fiamma	Diametro della fiamma	Portata de' fuochi.
1. . .	4. . . .	750 gram.	9 centim.	9 cent.	9 a 15 leghe
2. . .	3. . . .	460. . .	8. . . .	7. . . .	7 a 9 —
3. . .	2. . . .	195. . .	7. . . .	4. . . .	5 a 7 —
4. . .	1. . . .	45. . .	5. . . .	2. . . .	3 a 5 —

La portata de' fuochi, o la distanza a cui essi son visibili da un punto dato dell'orizzonte del mare, dipende dall' altezza in cui son posti. Così un osservatore che stesse all'altezza di 5 metri, il cerchio dell'orizzonte reale sarebbe a circa 8000 metri, o 2 leghe; questa distanza aumenta come la radice quadrata dell'altezza, e perciò a 500 metri essa è di 20 leghe.

Dispersione, scomposizione della luce per rifrazione, e sua ricomposizione.

307. Quanto si è sinora esposto su la rifrazione, ha solo attenenza con la deviazione o cambiamento che patisce la luce nel passar pe'corpi o mezzi diafani, che si son detti *rifrangenti*, senza però ch' essa patisca alterazione alcuna. Ma ove si obbligasse un fascetto di luce passar per un prisma triangolare di vetro, o di altro corpo diafano della stessa forma, essa allora ne uscirebbe dilatato, e variamente colorato. Questo fenomeno, che si è detto *dispersione*, prova che la luce bianca è composta di sette colori distinti, cioè *rosso-arancio-giallo-verde-turchino-indaco-violetto*. (1) In questo caso, il fascio rifratto, è tanto più disperso

(1) La dilatazione che nel piano di rifrazione acquista in tutt'i suoi punti un fascetto di luce, perpendicolare al detto piano che passa da un mezzo rifrangente ad un altro, e propriamente ciò che dicesi *dispersione*. Essa è tanto più grande, quanto più gl'indici di rifrazione corrispondenti a'raggi estremi dello spettro differiscono fra loro, e si è convenuto chiamar *rapporto di dispersione* la differenza degl'indici di rifrazione de' raggi omologhi in diverse sostanze. Così indicando con n^i, n^k gli indici di rifrazione, di due raggi o linee fisse dello spettro di una sostanza conosciuta, come p. e. l' acqua, e con n'^i, n'^k quelli delle linee fisse omologhe di un altra sostanza, il rapporto

$$\frac{n'_k - n'_i}{n_k - n_i}$$

chiamasi il rapporto di dispersione.

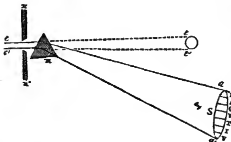
quanto più il potere rifrangente del corpo è considerevole. Nei gas, questa dispersione è poco sensibile, ma nelle sostanze solide o liquide, i raggi colorati si veggono assai più allontanati.

Aristotile ed i suoi seguaci ammettevano dipendere i colori da una proprietà inerente a'corpi colorati. I Cartesiani li facevan derivare dalla presenza di un mezzo elastico posto in movimento dall'azione de'corpi colorati, la cui azione trasmettevasi dipoi all'organo della vista. Grimaldi esaminò pel primo la colorazione de'corpi per rifrazione, ma Newton, studiandola più profondamente, pervenne a risultamenti più decisivi.

Il fenomeno generale della dispersione che accompagna sempre la rifrazione, ha luogo quando la superficie di emergenza



non è parallela alla superficie d'incidenza, il perchè venne prescelto da Newton il prisma triangolare di vetro fra gli altri prismi o poligoni trasparenti per dimostrarlo, come quello in cui meglio succede la dispersione, o allargamento, nel piano angolare della rifrazione. Questo prisma, come si vede nella figura, è mobile nell'asse in *n*, ed in *g* per darli ogni sorta d'inclinazione, essendo fissato sul piede *t*. Ma per aver più distinta l'immagine colorata, che si è detta *spettro solare*, i cui colori si son chiamati anche *colori del prisma, colori dello spettro, colori dell'iride*, *colori semplici, colori dell'arco baleno ec.*, si fa uso di un fascetto di luce solare *e e'* che si fa entrare per un piccol foro circolare ma alquanto obliquo, praticato su l'imposta che chiude una camera, come si vede in *nn'*. Or se il fascetto di luce si riceva sopra un cartone, si avrà l'immagine circolare *t t'* nella stessa direzione, ma se avanti il foro vi si frapponga il prisma triangolare di vetro *m*, il cui angolo sia almeno di 60°



e volto in modo che uno degli spigoli sia parallelo all'orizzonte e perpendicolare alla direzione del raggio incidente, e che il fascetto di luce sia ricevuto obliquo su la faccia ch'è dirimpetto il foro, esso allora uscendone per la seconda faccia, devierà dalla direzione primitiva *t t'*, e curvandosi si arresterà su l'ostacolo formandovi l'immagine ovale colorata *a a'* di una larghezza eguale all'apertura da cui viene il fascetto luminoso, ma

stesso tempo la inclinazione e colorazione del liquido, inclinando più o meno la faccia mobile *a'* su la faccia *a* fissa dello strumento, e per provar che la lunghezza dello spettro dipende dalla natura della sostanza del prisma, può versarsi successivamente nella cavità dello strumento diversi liquidi, conservandoli lo stesso angolo, e notando le lunghezze de' spettri corrispondenti.

Quanto a' solidi, si fa uso di un prisma triangolare che si è detto *poliprisma*, perchè fatto con più lamine di diversi cristalli colorati che hanno tutte lo stesso angolo rifrangente, sopraposte le une alle altre esattamente, e fissatevi per le loro facce piane col mezzo di una soluzione di gomma assai trasparente. Facendo correr questo poliprisma avanti l'apertura da dove viene il fascetto de' raggi solari, come si è detto pel prisma semplice, si obbliga la luce a traversar successivamente le diverse due lamine con lo stesso grado di obliquità, e si avranno così spettri inegualmente deviati e colorati secondo il grado di rifrangibilità delle lamine adoperate per comporre il poliprisma.

In tutte queste sperienze potrà osservarsi, che quando la lunghezza dello spettro non è almeno il doppio della sua larghezza, formasi sempre in mezzo una striscia bianca, ma quando lo spettro è assai allungato ciò non succede; la separazione allora de' colori è compiuta, ed essi sono sempre disposti nello stesso ordine relativo. Questi raggi colorati non hanno tutti la medesima rifrangibilità, cosicchè se l'immagine colorata si divida in 360 parti, si avrà che il rosso ne occupa 45, l'arancio 27, il giallo 48, il verde 60, il turchino 60, l'indaco 40, ed il violetto 80.

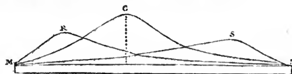
310. Le prime sperienze di Newton su la costituzione della luce, lo condussero a considerarla composta de' sette indicati colori, che disse *elementari* o *primitivi*, dappoichè avendo egli obbligato ciascun raggio colorato a passar per un secondo prisma, vide che ne usciva allo stesso modo colorato senza provare alcuna scomposizione per una novella rifrazione. Egli conchiuse da ciò, che la luce bianca si compone di sette sorte di luce omogenee, e che la stessa rifrangibilità si appartiene sempre al medesimo colore; ma dopo le ricerche fatte posteriormente dagli altri fisici, le deduzioni di Newton non si trovarono esatte.

Newton aveva ammesso come principio, che ciascun raggio aveva una rifrangibilità propria, ed in conseguenza i raggi meno rifrangibili dovevano produrre in noi la stessa sensazione di colore; ma Brewstever trovò dopo, che non sempre ciò poteva provarsi sperimentalmente, dappoichè in ciascuno de' sette colori vi sono delle degradazioni di tinte che indicano chiaramente esser queste prodotte da altri colori differentemente rifrangibili. Avendo Newton scomposta la luce bianca in sette colori, la ricompose portando questi colori nello stesso punto col mezzo di una lente

biconvessa, e n'ebbe la luce bianca come prima. Per mezzo della legge della dispersione della luce si dà ragione de'colori iridati di un corpo veduto attraverso un prisma, e Newton ne diede una norma empirica col mezzo della quale determinò il colore composto prodotto dal soprapponimento di più colori prismatici. Questa norma, che venne comprovata con un gran numero di sperienze, consiste nel dividere un cerchio in sette settori differenti di cui egli ne diede gli angoli. Or se suppongasi che ciascuno di questi settori possegga uno de'colori omogenei dello spettro, il rapporto delle grandezze di essi settori rappresenta quello degli spazii colorati dello spettro.

Avendo Newton divisa la ciconferenza di un circolo in sette parti proporzionali à numeri $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{9}$, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{16}$, $\frac{1}{9}$, così che la prima parte corrispondente al rosso sia di 60.° 45; la seconda all'aranciato di 34.° 11; la terza al giallo di 54.° 11, la quarta al verde di 60.° 46; la quinta all'azzurro di 54.° 41; la sesta all'indaco di 34.° 11; e la settima al violetto di 60.° 45, la cui somma è prossimamente eguale a 360, facendo girar rapidamente un tale spettro artifiziale dipinto sopra un disco di cartone bianco, osservò che questo appariva sensibilmente bianco.

Wollaston nel 1802 dopo varie sperienze fu indotto a ritener quattro soli colori primitivi nello spettro, cioè il rosso, il verde il turchino ed il violetto, ma Herschel provò dopo che l'arancio il verde ed il violetto erano colori secondari che derivano dalla mescolanza del rosso, del giallo e del turchino, e perciò ritenne questi soli tre colori come primitivi o elementari, il che venne confirmato e ritenuto da Mayer, e da Brewster, e dipoi dagli altri fisici, quantunque Young avesse preteso dover essere i tre colori fondamentali il rosso, il verde ed il violetto.



311. La figura qui sopra rappresenta lo spettro come lo ha immaginato sir D. Brewster. Le tre curve MRN, MCN, MSN, disegnano tre spettri primitivi della stessa lunghezza, cioè *rosso giallo* ed *azzurro*, e fan concepire il modo in cui la loro combinazione produce poi gli altri colori secondarii. Lo *spettro rosso* ha il massimo d'intensità in R, in cui l'ordinata della curva è massima, e diminuisce rapidamente verso M, o verso N, ne'cui punti poi svanisce. Lo *spettro giallo* ha il suo massimo d'intensità in C, e questa diviene zero in M ed in N. Lo *spettro azzurro* è più inteso in S, e dileguasi parimemete in M ed in N.

La curva generale che rappresenterebbe l'intensità totale della luce, sarebbe esterna alle tre curve indicate, e la sua ordinata in un punto qualunque, sarebbe eguale alla somma delle tre ordinate delle tre curve nello stesso luogo. Così l'ordinata della curva generale in C, è eguale a quella della curva del giallo, che può supporsi 10; più quella della curva del rosso, che può esser 2, più quella dell'azzurro 1; l'ordinata dunque generale sarebbe 13. Suppongasi ora che tre parti di giallo, 2 di rosso ed 1 di azzurro formino il bianco; il colore in C sarebbe eguale a 3 + 2 + 1, o a 6 parti di bianco, mescolate a 7 di giallo, e perciò la tinta composta in C, sarebbe un giallo reso brillante dalla luce bianca senza nè rosso nè azzurro. E poichè questi colori occupano tutti lo stesso luogo dello spettro, e godono del medesimo grado di rifrangibilità, non possono più esser separati da altri prismi; e perciò ove vi fosse un vetro che assorbisse 7 parti di giallo, vi rimarrebbe in C una luce bianca che non potrebbe scomporsi col prisma.

Cagione de' colori de' corpi o cromatica.

312. Newton aveva stabilito, che i corpi che riflettono tutt' i raggi sembrano bianchi, e que'che li assorbono appariscono neri; ma vi ha de' corpi (i colorati) che scompongono imperfettamente la luce, ne riflettono un colore elementare solamente, e gli altri sono assorbiti. Così un corpo rosso assorbisce tutti gli altri colori e riflette il rosso; il verde, riflette il verde ec. Il colore dunque non è una *proprietà della materia,* ma esso proviene dall' *azione della materia su la luce.* Così una stoffa bianca che riflette tutt' i raggi, senza cioè scomporli, tinta in rosso acquista la proprietà di scomporli, assorbirne tutti gli altri colori elementari, e rifletterne il suo color proprio, cioè il rosso, il che similmente succede per gli altri colori. Nelle reazioni chimiche soprattutto, due liquori perfettamente scolorati divengono colorati, o due soluzioni limpide scolorate s'intorbidano e lasciano deporre una materia solida colorata, come succede quando in una soluzione di un sale di ferro perossidato vi si versi una soluzione di cianuro ferroso potassico, perchè nella reciproca scomposizione danno un precipitato azzurro intenso che è il berlino, o azzurro di prussia ec. L'azion chimica dunque, che cambia la natura de'corpi, ne muta nello stesso mentre l'azione sopra la luce, ed ove con altra azion chimica que'corpi nuovi formati si portino allo stato primitivo, essi riprendono la proprietà di non alterar più la luce e ritengono il colore di prima. Lo stesso succede se un corpo colorato con l'azion chimica acquista altro colore ec. Così il tornasole ch'è azzurro, diviene rosso con l'azione di un'acido, e torna a farsi azzurro con l'azione di un alcali, perchè que-

sto si combina all' acido e fa tornare il tornosole al colore primitivo ec. Da siffatte proprietà ne risulta scomposizione della luce, ed un ineguale assorbimento de'suoi colori elementari, e perciò quello che non è assorbito determina con la sua riflessione il color proprio del corpo; proprietà che consiste nell'arrestare un colore nella superficie ed assorbirne gli altri dello spettro.

313. Siffatta proprietà ne'corpi erasi derivata da una densità varia che essi acquistano con la combinazione, ma due inchiostri uno rosso l'altro nero quantunque si portassero esattamente alla stessa densità, il loro colore non sarebbe perciò in alcun modo alterato; e nell'esempio dell'azzurro di prussia, quando esso è prodotto della mescolanza delle due soluzioni indicate, se vi si aggiunga la potassa o l'ammoniaca caustica, il colore sparisce; e se vi si aggiungne l'acido solforico, che riporta la combinazione azzura allo stato di prima, il colore apparisce un'altra volta, e ripetendo l'azione dell'acido e dell'alcali, il fenomeno si riproduce costantemente come prima. Dunque variando in siffatto modo la densità con l'acido si ha il solo colore azzuro il quale deriva dalla combinazione chimica che formasi, e quando questa si scompone con l'alcali, tal combinazione è distrutta ed il colore non più si manifesta. Lo stesso succede per infinite altre chimiche reazioni, il che prova che il colore in questi corpi didipende dalla loro particolar natura secondo che possono assorbire altri colori e rifletter quello che li divien proprio.

Osserviamo ancora che un colore scuro trasmesso attraverso un vetro azzurro, non sembra un colore omogeneo, come l' azzurro dello spettro solare, ma sebbene esso deriva da mescuglio di tutti gli altri colori della luce bianca, che il vetro azzurro non può assorbire, e questi colori assorbiti, e mescolati con la tinta azzurra, generano la luce bianca. Veduti poi i sette colori dello spettro con una sottil lamina di vetro azzurro, son tutti distintamente veduti, ma operando con una lamina più spessa, ciascun colore è assorbito tra l'estremità rossa e l'estremità violetta, e l'intervallo che separa questi due colori è perfettamente nero. Ed in ultimo, se questa lamina è di una spessezza media tra le due prime, in mezzo allora dello spazio rosso, tutto l'aranciato, una gran parte del verde, ed una parte più debole del violetto spariscono, perchè sono assorbiti dal vetro azzurro, mentre che i raggi gialli occuperanno uno spazio più grande di prima, covrendo parte di quello che prima occupava l'arancio da una parte, il verde dall'altra; cosicchè la luce rossa la quale, mescolata al giallo costituisce l' arancio, e la luce turchina, che mescolata col giallo forma la parte verde dello spazio vicino il giallo, sono assorbiti dal vetro azzurro. Col mezzo dunque dell'assorbimento la luce verde è scomposta in giallo e turchino, e la luce aranciata in giallo e rosso.

Così i raggi verdi ed aranciati, la cui scomposizione non aveva ceduto alla rifrazione, sono obbligati a cedere all'assorbimento, e consistono in due colori differenti che posseggono il medesimo grado di rifrangibilità.

La differenza dunque de'colori, non avendo una pruova nella differenza di rifrangibilità, la conseguenza dedotta da Newton, non può più ammettersi come verità generale. Quest'analisi dello spettro fatta col mezzo di una lamina di vetro azzurro portata a differenti gradi di spessezza, o con altri mezzi colorati, condusse Brewster a provar che lo spettro solare si compone di tre soli colori fondamentali, cioè il rosso, il giallo, ed il turchino, de'quali ciascuno vi esiste in tutta la sua estensione, ma con gradi differenti d'intensità nelle sue parti differenti; e che la di loro sovrapposizione produce le sette gradazioni, secondo che ciascuno de'tre colori primitivi vi è in più o in meno. E poichè una certa porzione de'raggi rossi, gialli, e turchini costituisce la luce bianca, il colore di un punto qualunque dello spettro può considerarsi come il mescuglio della luce bianca col colore predominante in questo punto. Conseguentemente, assorbendo in un punto qualunque dello spettro la quantità di colore che sorpassa la proporzione necessaria alla formazione della luce bianca, quella che si sarà ottenuta, differirà dalla luce bianca ordinaria, cioè che essa avrà la proprietà rimarchevole di non provare alcun cambiamento per opera della rifrazione, e di non potersi scomporre se non per l'assorbimento. V. *Interferenze* e § 311.

314. *Linee oscure dello spettro*, o *spettro prodotto a righe* — Quando un fascetto di luce estremamente piccolo passa per un prisma di vetro purissimo, e che lo spettro solare si riceva sopra un cartone bianco allo stato di massima sua precisione nelle tinte, esso offre l'apparenza di una fettuccia ombrata, composta di tutt'i colori prismatici, la cui larghezza è irregolarmente chiusa o suddivisa in un numero indefinito di linee nere o più o meno oscure. Queste linee, nella più parte, sono talmente dritte e serrate, che è impossibile distinguerle nelle circostanze ordinarie ad occhio nudo. Osservate la prima volta da Wollaston, vennero dopo attentamente studiate dal celebre ottico Frahunofer di Monaco. Il miglior metodo sperimentato fu di vederle ricevendo lo spettro su l'oggettiva di un teloscopio, per darle un maggiore ingrandimento. Questa sperienza, quantunque meno esattamente, può farsi ancora guardando con un prisma un fascetto luminoso che entra attraverso una stretta apertura praticata su l'imposta di una finestra che chiude una stanza, tenendo il prisma prossimamente all'occhio, in modo che il suo angolo rifrangente sia situato parallelamente alla linea del fascetto luminoso. Quando lo spettro proviene da'raggi solari diretti, o riflessi, le zone nere si trovano sempre nelle stesse posizioni rela-

tive con la medesima larghezza ed intensità. Vi si osservano ancora infinite linee nere simili e perpendicolari alla lunghezza dello spettro, ma differentemente ordinate, nella luce delle stelle nella luce elettrica, ed in quella delle fiamme, avendo ciascuna stella, e ciascuna fiamma un sistema di linee scure proprie, e che resta invariabile in ciascuna circostanza. Fraunhofer potè contarne da 20, sino o 100 in un solo millimetro di larghezza, e notò in questo modo il fenomeno. « La sottile fenditura nel« l'imposta della camera oscura si vedeva nel mezzo, attraverso « il prisma, illuminata da una luce bianca, coi confini ben ter« minati, come se le righe non esistessero, e da un lato e dal« l'altro le apparenze erano esattamente simmetriche. Lo spazio al di là dell'immagine bianca della fenditura, rimase per un certo tratto oscuro, ma di poi seguiva dappresso uno spettro che presentava gli stessi colori di quello che dà il prisma, a differenza che il violetto era dentro, cioè si scostava meno dall'immagine.

Queste linee sono indipendenti dall'angolo rifrangente e dalla sostanza del prisma, e la costanza del loro numero e della loro posizione le rende assai utili per determinare gl'indici di rifrazione de'diversi colori. Fraunhofer ne contò sino a 600, fra le quali ne scelse sette delle più rimarchevoli, di cui potè determinare esattamente le loro distanze relative, che ora servono come punti di ricerche invariabili, o come una scala che può servire per misurare le potenze rifrangenti de'differenti mezzi su i raggi della luce, il che rende ora questa parte dell'ottica meglio esatta che qualunque altra delle scienze fisiche (1).



315. La figura qui sopra rappresenta le parti principali dello spettro come fu osservato e descritto da Fraunhofer. I limiti da'passaggi di un colore all'altro si sono segnati con curve, ed i colori con le loro lettere iniziali R, A, G, V, *t*, I, V. Le loro

(1) I raggi che mancano nello spettro solare, e che cagionano le line scure, probabilmente sono assorbiti dall'atmosfera del sole; dappoichè se essi lo fossero da quella della terra, dovrebbero mancar gli stessi raggi nello spettro formato dalla luce delle stelle fisse, il che poi non succede, per esser la posizione delle linee scure nello spettro prodotto dalla luce delle stelle, differente da quello della luce del sole. I raggi solari riflessi dalla luna e da'pianeti son forse egualmente modificati dalle rispettive loro atmosfere, ma ciò non apporta ostacolo sensibile ne'risultamenti, perchè le linee scure hanno la stessa posizione nello spettro tanto quando proviene dalla luce diretta che dalla luce riflessa del sole.

estensioni, differiscono poco da quelle trovate da Newton, e sono espresse per $\frac{1}{360}$ parti dell'intiera larghezza, nel modo seguente:

Rosso	Arancio	Giallo	Verde	Turchino	Indaco	Violetto
56	27	27	46	48	47	109

La particolarità osservata da Fraunhofer, che era stata in parte avvertita da Wollaston, consiste nel gran numero di linee ben definite chiare e nere, come quelle della figura, che veggonsi attraverso lo spettro perpendicolarmente alla sua larghezza. L'estremo rosso trovasi circa presso A, e l'estremo violetto presso I, che sono negli estremi in alto della figura. In *a*, E *b*, *n*, G, ed H, si veggono alcune linee meglio determinate, le quali servirono per contar le altre da un punto all' altro delle lettere indicate, e così potè Fraunhofer contar sino a 574 linee sottili. Queste linee conservano la medesima posizione relativa nei rispettivi spazii colorati dello spettro solare, indipendentemente dall'angolo del prisma e dalla natura delle sostanze bi-rifrangenti adoperate; e poichè esse sono assai distinte e precise, Fraunhofer le fece servir come termini fissi a cui potersi riferir le diverse parti dello spettro, al che non sodisfa così bene i limiti de' suoi colori elementari, perchè troppo incerti e mutabili col variar la natura della sostanza de' prismi.

Ricomposizione della luce.

316. Newton aveva riuniti i sette colori del prisma per mezzo di una lente bi-convessa, ed ottenuta la luce bianca come prima. Così scomposta la luce col mezzo del prisma, operando in senso inverso, cioè ricevendo lo spettro a poca distanza sopra la lente bi-convessa, si vedranno i sette colori riuniti al suo foco, e se ivi si frapponga un cartone, si avrà la luce bianca come prima; ma allontanando il cartone al di là del foco, l'immagine a poco a poco si fa più grande, e lo spettro apparisce un altra volta, ma con i colori disposti in ordine inverso, come succede delle immagini capovolte che si veggono con questa stessa lente o con i specchi concavi ec. Che se poi prima di ricever lo spettro su la lente, s'intercetti un numero di colori elementari con un diaframma opaco, allora al foco opposto della lente non si avrà più la luce bianca, ma un colore composto. Se p. e. s' intercetti il solo raggio violetto, si avrà al centro del foco della lente una tinta gialla, e così ove successivamente s' intercettasse il turchino, il verde, ed il giallo, la tinta, si farebbe più in più rossa.

La ricomposizione può anche operarsi ricevendo lo spettro sopra altro prisma triangolare della stessa sostanza e del medesimo angolo rifrangente del primo postovi a poca distanza, ma volto in senso inverso; allora il fascio colorato tra i due prismi diviene bianco nell'uscir dal secondo, e dipinge sul cartone l'immagine del sole. Se il secondo prisma è a larghe facce, può situarsi allo stesso modo, ma più lontano dal primo, a fin che riceva tutto lo spettro; il che prova che non vi ha nel prisma alcuna forza particolare che valga a scomporre la luce bianca, o ricomporre quella scomposta, ma che la separazione e la riunione de'colori elementari succede per la ineguale rifrangibilità dei differenti raggi. Al § 310 si è esposto l'altro mezzo meccanico per ottener la ricomposizione della luce.

Azione calorifiche, chimiche e magnetiche dello spettro solare.

317. Le prime ricerche su le proprietà calorifiche de' raggi son dovute a Rochon, il quale le descrisse nelle sue *Memoria su la meccanica* nel 1775. Egli aveva osservato, che quando in un raggio elementare dello spettro vi si teneva un sensibile termometro, si avevano variazioni sensibili di temperatura, ed avendoli successivamente condensati con una lente convergente, ebbe col raggio rosso il *maximum* e col violetto il *minimum* di temperatura. Ma Herschel, che nell'osservare il sole con vetri diversamente colorati, aveva provato un vario grado di calore e di rifrangibilità, pensò che que'raggi emanati da quell'astro dovessero posseder vario grado di potenza riscaldante ed illuminante. Egli dopo, mettendo successivamente la palla di un sensibilissimo termometro su i raggi elementari dello spettro, provò che i raggi meno rifrangibili riscaldano maggiormente, e che tale proprietà scema a misura che la rifrangibilità aumenta. Questa potenza riscaldante fu trovata da Herschel pel rosso = 55, pel verde = 22, e pel violetto = 16. Conobbe ancora Herschel, che anche al di là ove finiva l'immagine dello spettro, cioè fuora il violetto ed il rosso, l'innalzamento di temperatura, da quest'ultimo, si faceva maggiore che nello stesso raggio rosso, ma alla distanza di 13 millimetri, ove esso non era più visibile, l'effetto non aveva più luogo. Englefield, che ripetè queste sperienze, ebbe gli stessi risultamenti. (*Journ. de l'Instit. Royale, I, p.* 202).

Proseguendo dopo Herschel le sue ricerche, trovò che il *potere riscaldante* differiva considerevolmente dal potere *illuminante*. Così il massimo della luce era ne'raggi di mezzo dello spettro, cioè tra il raggio giallo brillante ed il verde pallido; il giallo illuminava più dell' arancio e questo più del rosso. A partir poi dal violetto al rosso, il verde illuminava presso a poco come il

giallo, ma nel verde scuro il fulgore scemava sensibilmente ; il turchino seguiva il rosso; l'indaco era meno forte del turchino, e nel violetto si faceva debolissimo. La potenza dunque illuminante ne'raggi, non siegue quella riscaldante, ovvero la più o meno rifrangibilità de'raggi elementari dello spettro.

Seebech nel ripeter queste sperienze, provò che la materia di cui è formato il prisma ha molta opera ne'risultamenti. Così egli trovò che il punto più caldo cade alquanto fuora il raggio rosso se il prisma è fatto col *flint-glas*, ovvero col vetro limpido ordinario; ed ove si adoperi un prisma cavo fatto con lamine di vetro, e pieno di acqua, di alcool ovvero di essenza di terebinto, allora il punto più caldo cade nel raggio giallo.

318. Ma posteriormente Melloni avendo a disposizione apparecchi e sostanze di una sensibilità estrema, potè spingere assai più oltre le ricerche fatte da'fisici citati, e di quelli che le estesero al di là de' limiti prima segnati. Egli provò, che il punto che credevasi già fissato pel massimo di calore nello spettro solare, cambia con le diverse sostanze, e che i raggi elementari dello spettro, possono paragonarsi gli uni a que' delle fiamme, gli altri a quelli delle sorgenti a basse temperature. Le sostanze più diatermiche che lasciano passar molti raggi, e quelle che posseggono una grande potenza rifrangente, fan provare, proporzionalmente, minor perdita a'raggi meno rifrangibili, il perchè osservasi, che in un prisma fatto con quelle sostanze, il limite dei raggi calorifici che il prisma estingue, trovasi più lontano. Così adoperando Melloni un prisma cavo pieno di acqua, trovò che il massimo grado di calore era sul giallo ; e sostituendo all'acqua l'acido solforico, questo portavasi su l'arancio. Nel prisma poi di *crown-glass*, questo massimo era nel raggio rosso; in quello di *flint-glass*, al di là del rosso. Egli dedusse da queste sperienze, che la linea del massimo di temperatura nello spettro solare deve trovarsi fuori la sua parte colorata, e portarsi nello spazio oscuro, assai lontano dal limite estremo del rosso quando si adopera un prisma di sal gemma, sostanza ch' è più diatermica del *flint-glass*, e questa per rapporto al *crown-glass*. La distribuzione dunque del calore nello spettro solare, dipende dall'ordine trovato da Melloni nelle trasmissioni calorifiche nelle sostanze diatermiche (V. dal § 152 al § 161).

319. Morichini trovò nel 1813 che gli aghi di acciaro tenuti nel raggio violetto per circa 2 ore, divenivano sensibilmente magnetici (1). Lo sperimento deve farsi quando l'aria è serena, al contrario manca se l'atmosfera è carica di vapori acquosi, o che il cielo ha un color pallido. Queste sperienze, che vennero a ragione reputate di molta importanza, ripetute da Confi-

(1) Annalen der phisick, t. XLVI, con Gilbert.

gliacchi a Pavia, e da Berard a Montpellier, non diedero gli stessi risultamenti. Mary Somerville operando sopra stoffe violette su cui metteva gli aghi sotto l'azion de' raggi solari, ne' mesi di giugno e luglio, la cui temp. saliva sino a + 20°, confirmò il fatto osservato dal fisico italiano. Lo stesso io otteneva nel giugno del 1826 (1) ripetendole allo stesso modo, ma durai gran fatica a poterlo riprodurre; nondimeno variando lo sperimento, mi riusci magnetizzare gli aghi in pochi minuti, operando anche sopra stoffa violetta nel seguente modo:

Posi a terra un prisma montato sopra piccol sostegno di legno dirimpetto la luce solare che entrava in una stanza da una finestra, e sul raggio violetto dello spettro formato nella parte ove non giungeva la luce del sole, vi posi alquanti aghi sopra una pezzolina di cottone tinta in violetto mediante una soluzione alcoolica di orcanet comune, applicata su la stessa pezzolina dopo averla bagnata prima in una soluzione di potassa caustica, e diressi con una lente ordinaria di camera oscura, convesso-convessa, un fascio di luce concentrata sugli stessi aghi, facendo in modo che l'intensità del calore prodotto al foco della lente non avesse bruciata la sudetta pezzolina, ciò che potè facilmente evitarsi col non fissar quel punto luminoso, ma facendolo percorrer lungo gli aghi suddetti; dopo cinque minuti trovai gli aghi già magnetizzati abbastanza. Lo stesso sperimento fu variato in quest'altro modo: posi un piccol ago sopra un pezzo di vetro violetto, che aveva la spessezza di un terzo di pollice circa, e vi diressi allo stesso modo la luce solare con la lente; non erano scorsi che soli 4 minuti, e l'ago era già magnetizzato (2).

Gli stessi sperimenti ripetuti al modo di Mary Somerville e di Morichini, producevano presso a poco gli stessi effetti, ma in modo appena sensibile; il che derivò forse per avervi lasciati gli aghi solo per 15 a 18 minuti sul raggio violetto. E poichè il mio scopo era quello di confirmare una scoperta di un nostro nazionale, che aveva tanto contribuito al progredimento delle scienze fisico-chimiche, e che veniva contrastata da'più valenti fisici di Europa, così curai poco eseguir questi con maggior esattezza, tenendovi cioè più a lungo gli aghi nel raggio violetto.

Niuna precauzione fu omessa in questi sperimenti. Gli aghi erano, piccoli; furono saggiati prima per veder se erano già magnetizzati; la limatura di ferro fu preparata nell'atto dello speri-

(1) *Memoria letta nella R. Accademia delle Scienze, il* 24 Agosto 1826.

(2) Questi sperimenti furono fatti tra le ore 11 all'una pomeridiana, e vennero ripetuti più volte sempre con eguale successo. La sola azione del calore concentrato per mezzo della suddetta lente e diretto sugli aghi, non produsse alcuno effetto (*).

(*) *Bil. Ital. Anno 1830.* LIX, p. 129.

mento, adoperado un chiodo ordinario di ferro dolce ed una lima quasi fina, per proporzionare il peso delle molecole del ferro con la tenue quantità di fluido magnetico svoltosi negli aghi (1).

320. *Ries e Moser*, nel novembre del 1828 rapportarono negli *Annali di Chimica e fisica di Parigi*, non essere riusciti ad ottener la magnetizzazione degli aghi nel raggio violetto. Zantedeschi pensò rinnovar nel 1830 le sperienze fatte sul cadere del 1829; avanti l'abate Zamboni e l'abate Rivato, nel gabinetto di fisica dell' P. R. Liceo di Verona; operando alla temperatura di + 21° R. (si noti che l'atmosfera era un poco vaporosa) apparve qualche fenomeno di magnetizzazione, che distolse *Zamboni* da quella ferma credenza che avea nel niun riuscimento di tali effetti. Ma avendo dipoi ripetuta l' esperienza a + 25° R, i fenomeni magnetici si dispiegarono così chiari, che niuno degli astanti potè più dubitare della realtà dei risultamenti (2).

Questi stessi esperimenti furono da Zantedeschi rinnovati in Milano nel 1838 mentre era la temperatura dai + 20° ai + 26° R., con eguali felici risultamenti. *Knox* lesse alla Reale Accademia Irlandese nel 1840 una giustificazione delle esperienze fatte da Mary Somerville su la facoltà magnetizzante dei raggi più rifrangibili dello spettro solare, e dichiarò averne confermati gli stessi risultamenti. Anche più recentemente Moleyns ottenne la stessa magnetizzazione, e la ripetè (3) perfino collo spettro lunare (4).

321. Le sperienze che han condotto i fisici ed i chimici a scoperte ed applicazioni di più importanza, riguardano l'azion chimica de' raggi luminosi, tanto quella prodotta dalla totalità di questi raggi, cioè dalla luce bianca diretta o diffusa, che quella di ciascun raggio elementare dello spettro. Quest'azione, che erasi in qualche modo osservata sopra i minerali, vegetali, ed animali, lo fu dopo sopra alcuni agenti chimici che operano differentemente sopra uno o più raggi elementari dello spettro solare. Così sapevasi che gli animali privati di luce languiscono, il loro colore si fa pallido, e solo nel 1556 la scienza registrò ne'suoi annali qualche osservazione più precisa su la differenza

(1) Nell' edizione del 1829 del trattato di chimica di Berzelius, tradotta da Jourdan, al primo vol. p. 46. ecco come l' autore conchiude sugli sperimenti di Morichini e Mary Somerville:

Madame Somerville assure avoir remarqué que des aiguilles à coudre exposées au soleil sous un morceau de soie violette, deviennent magnetiques; mais le résultat des expériences faites à ce sujet par Seebeck, est qu'en nulle circostance les rayons solaires ne développent le phénomène de la polarité dans l'acier qui ne jouit pas déjà du magnétisme avant d'être soumis à leur influence: d'où ce célèbre physicien conclut que le fait énoncé par Mad. Somerville repose sur une illusion.

(2) *Poligrafo di Verona* T. VI, pag. 32, anno 1831.

(3) *Lucifero*, 25 novembre 1840.

(4) *Phil. Mag.* n.° 127.

che vi ha tra la vegetazione fatta in piena luce, e quella nell'oscurità.

Sennebier provò con ripetute sperienze, che la luce ha molta opera nella colorazione de'fiori e delle foglie ne' vegetali, perchè in que'che son tenuti in una camera oscura, le foglie ed i fiori non han colore, ed i rami si diriggono verso il suolo; ma se per un piccol foro si fa entrare un fascetto luminoso, i rami si diriggono da quella parte, ed ivi vedesi sviluppare il color verde nelle foglie. All'opposto osservasi, che in que' vegetali che più sono esposti all'azione più prolungata de' raggi solari, sviluppasi assai bene l'odore, la maturezza delle frutta, il colore ne'fiori e nelle foglie, e più abbondanti ne sono gli altri prodotti; perciò gli olei aromatici, le arance, le frutta, ec. son prodotti meglio ne'climi meridionali ove la durata del sole è maggiore che ne'climi o nelle parti volte a settentrione.

322. Ma il fatto più importante, che guidò i fisici ad un esame più attento su l'azion chimica de' raggi, si fu quello osservato da Schèele, cioè la proprietà che aveva la luce di annerire il cloruro argentico appena precipitato, il cui effetto era poi più pronto nel raggio violetto, che negli altri dello spettro solare, ed egli ebbe la prima idea di adoperarlo spalmato su la carta, per ricever le immagini nella camera oscura, dalla cui prima applicazione ne venne dopo la scoperta del *Daguerrotipo*, delle carte *sensibili*, ora dette *impressionabili*, ec. Ma Wollaston, Ricter e Beeckman, provaron dopo separatamente, che non tutt'i raggi operano uniformemente sopra queste sostanze, e che l'annerimento del cloruro succedeva non solo nel raggio violetto, ma anche al di là de'colori visibili dello spettro; e Wollaston ammise il primo, che questi ed altri effetti dovevano ripetersi da'raggi non percettibili all'organo della vista, che distinse col nome di *raggi chimici*, che poi si dissero anche *raggi alteranti* e *raggi oscuri*.

Ripetendo dopo Seebeck queste sperienze, confirmò che il cloruro argentico appena precipitato anneriva fuora il raggio violetto; ed Hessler trovò il massimo effetto dell'azion chimica prodursi a 23 linee più in là dell'estremo del violetto, e che il tempo necessario solo variava con la sostanza del prisma. Wollaston osservò dopo, che una falda di carta tinta con soluzione alcoolica di guajaco, il cui colore era giallo, si faceva verde all'azione de'raggi solari, il che più lentamente succedeva alla luce diffusa, ma il colore era modificato in due sensi opposti quando mettevasi ne'raggi estremi dello spettro, cioè diveniva verde ne'più rifrangibili, e tornava al giallo quando tenevasi su i raggi meno rifrangibili.

Biot che osservò dopo più attentamente il fenomeno, lo fece derivar da una illusione ottica, considerando la materia *impres-*

sionabile composta di due sostanze distinte ; una cioè rosso-giallastra, solubile nell'acqua e nell'alcool, che non si altera alla luce, l'altra solubile solo nell'alcool, e quasi scolorata, la quale passa subito al turchino sotto l'azion de' raggi chimici. Egli separò queste due sostanze facendo bollire il legno o la resina di guajaco prima nell'acqua per privarla della materia gialla, e poi nell'alcoole, per aver la materia *impressionabile* isolata. L'effetto si crede prodotto dall'ossidazione della resina, perchè tutt'i corpi ossidanti, come il cloro, il bromo, ec. gli danno lo stesso colore sotto l'opera delle luce, la quale promuove la combinazione dell'ossigeno dell'aria con una sostanza contenuta nella resina, e vi forma l'acido gaiacico di Pelletier e Deville. (*Comptes rendus*, 22 avril, 1839).

L'azion dunque delle *radiazioni luminose*, deve aver molta opera ne'fenomeni chimici, ed in quelli della vita organica. Sovente operano i soli raggi chimici, che perciò si dissero *alteranti*, ed altre volte sono i *raggi lucidi* che producono quelle mutazioni. Ma tal proprietà non è la stessa per tutt'i raggi elementari dello spettro, dappoichè osservasi aver più efficacia il raggio violetto, e que'che li sono più prossimi, nelle alterazioni o azioni chimiche, che il raggio rosso, arancio e giallo, come lo prova il cloruro argentico il quale, postovi successivamente, non è quasi alterato negli ultimi, e lo è assai sensibilmente ne'primi nell' ordine esposto.

Sostanze sensibili o impressionabili.

323. Da numerose ricerche fatte da Ed. Bequerel risulta, che le sostanze che più facilmente si alterano all'azione della luce, e de'suoi *raggi chimici, o alteranti*, possono dividersi in tre serie, cioè,

1.ª *Sostanze che patiscono modificazioni fisiche senza alterazione nella loro chimica composizione.* Fosforo — Solfato nickelico—Seleniato zincico. Acqua, materie volatili, come canfora, olei essenziali ec.

Il fosforo prende diversi colori nell' acqua o in altri liquidi, all' azione della luce, senza che si trovi dopo alterato, perchè la sola alterazione molecolare produce que'mutamenti, ma i due sali cambiano sistema cristallino. Il solfato nickelico che cristallizza nel sistema prismatico, tenuto alla luce per qualche tempo, quando si rompe, si divide in masse composte di ottaedri a base quadrata, che non più appartengono al sistema cristallino primitivo. Il seleniato zincico prova modificazioni simili posto nelle medesime circostanze. L'acqua, la canfora, ec. esposte inegualmente alla luce in bocce chiuse, si separano in goccioline su le pareti che sono più rischiarate.

2ª *Corpi i cui elementi si combinano per l'opera de'raggi solari* — Cloro ed idrogeno — Cloro e sostanze idrogenate di natura organica — Bromo ed idrogeno — Bromo e sostanze idrogenate = Jodo e sostanze idrogenate—Alcool e cloruri metallici—Resina di guajaco ed ossigeno, ec.

In molti casi può esservi complicazione negli effetti prodotti dalla luce diretta, per opera de' raggi calorifici che accompagnano i raggi chimici. Per ovviar siffatte complicazioni, può in molti casi operarsi con la luce diffusa invece della luce diretta de' raggi solari, per esser la prima sensibilmente priva di raggi calorifici. Molte di queste reazioni avvengono con la formazione di nuovi composti più complessi; altre volte alcuni corpi non si alterano all'azione della luce diffusa, o dopo molto tempo, mentre essi reagiscono al contrario più o meno prontamente alla luce diretta.

3ª *Sostanze o composti che si alterano in tutto o in parte sotto l'azione della luce*— Cloruro, ioduro, e bromuro di argento; nitrato ed altri sali di argento — Cloruro, ed ossido di oro, ed altri sali di oro — Sali di platino—Protossido e protocloruro di mercurio, ed altri sali di mercurio — Minio, e qualche sale di piombo; il cianuro di ferro e qualche altro sale dello stesso metallo; l'acido cromico, il protossido di cloro e l' acido cloroso; l' idrogeno deutofosforato; l'acido nitrico, i colori vegetali ec.

324. Dalle proprietà dette su'differenti raggi dello spettro, era naturale che questi si fossero divisi in *raggi lucidi* o *luminosi*, *raggi calorifici*, *raggi colorifici*, *raggi chimici* e *raggi magnetici*. Ma osservando i fisici che gli effetti di questi raggi, così distinti, erano gli stessi di que'de' raggi luminosi riuniti, diedero altra spiegazione a'fenomeni da essi prodotti separatamente. Così i raggi lucidi sono sottoposti alle stesse leggi fisiche de'raggi della medesima rifrangibilità; i raggi calorifici seguono le stesse leggi della riflessione. Berard provò ancora che essi provavano la doppia rifrazione assolutamente come i raggi luminosi, ed Arago che, essi interferivano come i raggi luminosi che avevano la medesima rifrangibilità, che potevano polarizzarsi, e che nelle superficie chimicamente sensibili producevano gli anelli colorati e forse potevano anche essere estinti, come i raggi luminosi. Dopo queste osservazioni i fenomeni luminosi, calorifici, e chimici, possono derivarsi da uno stesso agente, cioè dall'etere, modificato solo dalla natura delle sostanze su cui opera, e dai mutamenti indotti in queste stesse sostanze.

Così, su la retina, la sensazione de'*raggi luminosi* è di poca durata; su le sostanze chimiche sensibili, i raggi solari ne alterano l'equilibrio molecolare, portandole in una nuova e varia disposizione atomica; su le materie fosforescenti essi operano anche alterando quest'equilibrio molecolare, ma momenta-

neamente, alterando dopo anche lo stato elettrico delle particelle, che si ristabilisce a poco a poco con emissione di luce. Gli effetti dunque osservati possono ripetersi da un diverso modo di azione delle sostanze che hanno opera nella produzione dei fenomeni descritti, e non ad una modificazione dell'agente che li produce. Il perchè le distinzioni in *raggi luminosi*, *calorifici*, *chimici* e *magnetici* sarebbero puramente convenzionali, cioè atti a dinotare una differenza ne'fenomeni prodotti, e per facilitarne solamente lo studio.

Diffrazione.

325. Osservando Grimaldi che quando due raggi di luce concorrono in un dato punto possono, produrre ora più luce, ora l'oscurità, chiamò *diffrazione* quest'apparizione di luce ed ombra. Questo fenomeno esaminato dopo più attentamente da Young, lo disse *fenomeno delle interferenze*, e la voce *diffrazione* fu ritenuta per dinotar le modificazioni che patisce la luce quando passa per l'estremità de'corpi, e che vi produce france più o meno colorate. Queste france furono scoperte dallo stesso Grimaldi, frapponendo un sottil filo metallico o altro corpo al passaggio di un fascetto di luce che entrava in una camera oscura, ricevendo l'ombra a 2 metri circa di distanza sopra un cartone. Egli vide che gli estremi dell'ombra dilatata erano orlati da tre france colorate assai distinte, e che nell'ordine de'colori, il rosso era fuora ed il violetto dentro. Quando poi immergeva nel cono luminoso corpi estremamente sottili, anche nell'interno dell'ombra si producevano le france colorate, e perciò le prime le disse *france esterne* e le seconde *france interne*. Questo fenomeno diede poi luogo alla scoperta degli *anelli colorati* ottenuti per *riflessione*, per *rifrazione*, e per *polarizzazione*, che esamineremo più avanti.

Acromatismo.

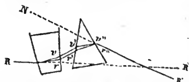
326. Quando i raggi solari cadono prima paralleli su la lente biconvessa, i diversi colori della luce bianca, a cagione della differente loro rifrangibilità, convergono realmente verso i punti differenti dell'asse della lente, in modo che l'immagine del sole, che al suo foco principale è bianca verso il centro, vedesi più in là circondata da anelli di colori differenti. Questa *diffusione* de'colori nelle immagini formate dalle lenti, ed a cui si è dato il nome di *aberrazione di rifrangibilità* (§ 300), ha fatto dar quello di *acromatismo* al mezzo adoperato a farla disparire.

Newton partendo da conclusioni poco esatte, volendo generalizzare un fatto particolare, fu guidato a considerar la dispersione

come fenomeno più semplice che non era realmente, e riguardar come costante i rapporti di rifrangibilità de' raggi colorati quando passavano a traverso le sostanze trasparenti, cioè suppose la dispersione proporzionale alla rifrazione. Una conseguenza di questa proporzionalità supposta era, che se la luce traversava due mezzi diafani successivi per entrar nuovamente nell'aria, l' effetto della dispersione non poteva sparir che con quello della rifrazione, o che bisognava che i raggi emergenti fossero paralleli a'raggi incidenti, per formare com' essi la luce bianca. Ma la legge della dispersione, riguardata come proporzionale alla rifrazione, non va d'accordo con l'esperienza, ancorchè abbia in favore che le sostanze più rifrangenti sieno in generale quelle che più disperdon la luce.

Così p. e. gl'indici di rifrazione corrispondenti ad una data riga fissa dello spettro di Fraunhofer, che fosse per l' acqua 1,3309, è poi 1,6277 pel *flint-glass*, e perciò i *coefficienti di dispersione*(1) di queste stesse sostanze, non sono nel rapporto della supposizione di Newton.

Ma avvertito da Dollond, celebre ottico inglese, siffatto errore, pervenne a corriggerlo, ed aver nello stesso tempo una luce rifratta senza colori. Così, un fascio di luce R R″ è rifratto nel primo prisma di acqua, poi in un secondo prisma di vetro, stando i due prismi assai vicini, ma con gli angoli volti in senso contrario, come si vedono nella figura. De' due raggi estremi dello spettro, la prima rifrazione nel prisma d' acqua conduce il raggio violetto in v ed il raggio rosso in r'; i due raggi coincidono in v'' r'', ed escono paralleli nella direzione di R′. L' effetto della dispersione è annientato, ma non è quello della rifrazione perchè R′ fa un angolo col raggio primitivo R R″. Gli effetti dunque della colorazione spariscono, ancorchè la luce fosse rifratta, e l' acromatismo è così realizzato. Dopo questo primo fatto, Dollond pervenne ad acromatizzar una lente biconvessa di *crown-glass* soprapponendovene un altra piano-concava di *flint-glass*, per la parte concava, che aveva perfettamente la stessa curva della convessa, essendo esse presso a poco dello stes–



(1) La differenza tra gl'indici di rifrazione de'due colori estremi dello spettro solare, si chiama *coefficiente di dispersione*. Questa differenza che si è designata per $d\,l$ è assai piccola perchè possa, nel più numero de' casi, trascurarsi il suo quadrato avanti la sua prima potenza. Per esempio, se prendasi per questo coefficiente la differenza degl'indici corrispondenti alle due righe fisse B H dello spettro di Frauuhofer, sarà esso di 0,0133 per l'acqua, di 0,0233 per l'olio di terebinto, 0,208 pel *crown-glass*, e di 0,0434 pel *flint-glass*.

so potere rifrangente, ma di un potere dispersivo più grande, e che senza distruggere interamente la convergenza de' raggi emergenti pe'raggi incidenti paralleli, riconducevano nello stesso puntò dell'asse i fochi de'raggi esteriori dello spettro. Può anche aversi questo effetto adoperando due prismi delle stesse sostanze, ma posti in senso contràrio. Si ha poi una *lente composta acromatica*, ponendo una lente biconcava di *flint-glass* in mezzo a due lenti bi-convesse di *crown-glass*.

L'acromatismo così ottenuto da Dollond non è perfetto, perchè sebbene nella pratica ordinaria esso renda quasi insensibile l'aberrazione di sfericità, ma non la distrugge intieramente, lo che importa ottener per alcuni strumenti di ottica; dappoichè quando anche si pervenga a far coincidere i raggi emergenti rossi e violetti, quelli degli altri colori possono essere ancora separati, mentre le differenze di rifrangibilità non restano le stesse ne'mezzi di natura differente. Si è perciò preferito adoperar le *lenti acromatiche composte*, cioè a tre lenti, come si è detto più sopra, potendo così far coincidere il foco di un terzo colore col foco comune de'raggi rossi e violetti. Ma Amici, partendo da questi dati, è pervenuto a costruir lenti acromatiche composte con sette vetri differenti, i quali riconducono nel medesimo foco tutt'i sette colori dello spettro, e così l'acromatismo ha ora ricevuto l'alto grado di perfezionamento da questo celebre ottico italiano.

Fenomeni d'interferenze e Teorica dell'ondulazione.

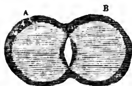
327. Nelle generalità su gli imponderabili, e nel § 88 di questo volume si è esposto nel modo più conpendioso possibile il sistema dell'*emissione* e quello dell'*ondulazione*. Tanto poi nel trattato del calorico che in quello della luce si è sinora fatto notare come molti fenomeni non potevano spiegarsi col primo e si svolgevano facilmente col secondo. Non essendovi niente di assoluto, se anche l'ultimo presenta ancora qualche limitata objezione, il primo ne addimostra tante da non potersi più ritener come atto a spiegare i conosciuti e nuovi fatti che si attengono tanto al calorico che alla luce. E poichè si è detto, che una nuova teorica deve prevaler su la vecchia, quando essa dà meglio ragione di que'fenomeni che non possono spiegarsi con quella prima adottata, non curandoci su la realtà o immaginario principio da cui essa trae origine, la logica c'impone di ritenerla di preferenza di quella che più intoppi presenta nel suo svolgimento e nelle sue applicazioni. La teorica dell'ondulazione poggia sopra fatti inconcussi, e perciò si è adottata da tutt'i fisici, il perchè sarebbe ozioso il più insistere per sostenere l'altra dell'emissione, riconosciuta se non tutt' erronea, almeno non atta a dar ragione di

que'fenomeni capitali che si appartengono all'ottica, ed al calorico. Molti di questi si sono discussi ne'§§ 108, 109, 118, 119, 122, 129, 130, 165, 242, 251, 256, 288, 289, 290, ec. ed altri saranno esposti in prosieguo di questo trattato dell'ottica.

L'ipotesi dunque di Newton è stata a ragione combattuta dai partigiani dell'ipotesi posata prima da Cartesio, di poi svolta maggiormente da Huyghens e da Eulero, e richiamata ora dall'oblio da'più valenti fisici; imperciochè quella dell'emissione si complica sempre più a misura che nuovi fenomeni si van discoprendo, e perciò essa ora diviene del tutto insufficiente per dar ragione dei tanti fenomeni luminosi e calorifici, ed in ispecialità di quei della doppia rifrazione, della polarizzazione, degli anelli colorati ec.

328. Cartesio, e poi Huyghens, Eulero ed altri fisici contemporanei, supposero che la sensazione della luce fosse prodotta da ondulazioni eccitate in un fluido sottilissimo, assai elastico, che dissero *etere*, e paragonarono le sue vibrazioni a quelle dell'aria quando produce il suono. Secondo questa ipotesi, l'etere riempie lo spazio tutto, penetra e stanzia nell'interno dei corpi, e per conseguenza passa anche attraverso il vuoto, ed in ultimo assume gradi differenti di densità secondo la natura e densità de'corpi. Nondimeno la ipotesi di Newton, come d'intendimento più volgare, prevalse sopra quella delle ondulazioni eteree.

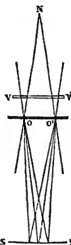
Grimaldi vide che quando due raggi di luce concorrono in un dato punto possono produrre ora più luce, ora l'oscurità, ma esaminando più attentamente il Dott. Young siffatto fenomeno, pervenne a riprodurlo in varie maniere, e lo descrisse col nome di *fenomeno o principio* delle *interferenze*. Ecco in che consiste il fenomeno osservato da Grimaldi. Avendo fatto entrare un fascetto di luce in una camera oscura per un piccol foro, notò che le ombre de'corpi immersi nel cono luminoso, ricevute alla distanza di due metri, erano più dilatate, e che i confini dell'ombra erano circondati da tre france colorate. Ma un altro fenomeno più mirabile osservò questo fisico, quando fece penetrar la luce solare per due piccoli fori posti vicini fra loro, ricevendo la luce de'due coni luminosi a maggiore distanza, anffinchè le due immagini circolari si soprapponessero in parte. Egli osservò che queste parti soprapposte erano più chiare nel mezzo, ma oscure ne'loro contorni, come si veggono nella figura, i quali mostravansi tinti ancora di alcuni colori prismatici. Chiudendo uno de'fori si aveva un solo circolo, e la parte oscura della porzione dell' orlo di quello che rimaneva, prendeva un nuovo splendore, e quando si toglieva l'ostacolo, lasciando cadere un altra volta la seconda immagine circolare, esse tor-



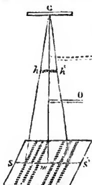
navano a presentare i contorni come prima. Or la luce del secondo circolo aggiugnendosi a quella del primo, avrebbe dovuto accrescerne la intensità nelle due parti più prossime, ed invece diveniva più fosca; per lo contrario intercettando la luce che produceva uno de'circoli, quella dell'altro si faceva più viva, il perchè conchiuse Grimaldi, che luce aggiunta a più luce produce talvolta oscurità, come la luce sottratta da luce produce più luce.

Ma le sperienze di Young divennero più decisive, perchè egli pervenne ad aver l'oscurità perfetta, al che non era giunto Grimaldi, operando nell'altro modo seguente:

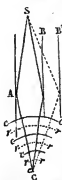
329. Due raggi che partono dalla stessa sorgente, e che seguono direzioni poco inclinate fra loro, si distruggono mutuamente quando vi ha, tra le lunghezze delle distanze che han percorse prima d'incontrarsi, una differenza eguale ad un numero impari di volte, differenza che serve di comune misura alle distanze percorse da'due raggi; vale a dire, che se il primo raggio ha percorso una distanza eguale ad 8, ed il secondo un altra eguale a 13, vi sarà oscurità, perchè la differenza tra le distanze percorse è eguale al numero impari 5. Che se poi la differenza è nulla, o che essa contiene un numero pari di volte la misura comune alle due distanze, allora i due raggi luminosi si aggiungono e la luce si fa più viva. Così fra le tante sperienze di Yung, rapporteremo la seguente, che servì a stabilire il suo principio delle interferenze: Quando un raggio di luce solare che viene dal punto N, se dopo aver traversato una lamina di vetro colorato VV', penetra in una camera oscura per le due piccole fenditure OO', praticate sopra un cartone, o lamina sottile metallica, i due fascetti che derivano dal raggio iniziale N, producono zone alternativamente luminose ed oscure su l'ostacolo SS', postovi a qualche distanza; ma se chiudesi una delle due aperture, O, ovvero O', le zone scure spariscono, e l'ostacolo vedesi rischiarato da una luce uniforme; il che prova che le zone scure son prodotte dall'interferenza, cioè dall'azion mutua che due raggi di luce esercitano l'uno su l'altro. Questo fatto, che poco differiva da quello osservato da Grimaldi, servì di base alle ricerche di Fresnel, ed esso solo bastò per confutar la dottrina newtoniana. E difatti, se la luce è una *materia reale*, la sua *distruzione* è fisicamente impossibile, ma derivando l'oscurità dalla cessazione del moto dell'etere, il fenomeno è facilmente spiegato.



330. Nell'altra figura qui sotto, suppongasi C *m* il raggio solare che passa per una piccola apertura fatta con un ago molto sottile, nella lamina di piombo in C, e si riceva su l'ostacolo S S'. Quando s'interpone al fascetto luminoso un capello, un filo metallico, o una sottile striscia di carta *h h'*, poco meno di un millimetro di larghezza, i raggi si curvano intorno de' due lati, arrivano su l'ostacolo S S' in uno stato di vibrazione differente, ed interferendosi formano una serie di frange colorate a destra ed a sinistra, come si vedono nella figura, da ciascun lato della zona bianca che stà nel centro *m*. Che se allora arrestasi il cammino ad uno de' raggi, che passa da uno dei lati del capello, con un corpo opaco posto in O, le france colorate spariscono da questo lato, come nella prima sperienza descritta, e quando si opera con una luce omogenea, cioè con uno de'raggi elementari dello spettro, si vedrà che le france diminuiscono in larghezza dal rosso, ove sono più larghe, sino al violetto ove si fanno più strette. Queste sperienze furono le prime fatte da Young, e che li serviron dopo a stabilire il suo *principio* delle *interferenze*.



331. Lo stesso ebbe Fresnel con due raggi di luce che entrando da S arrivavano nel punto C dopo la riflessione su i due specchi AB, disposti in modo che tra loro formavano un piccolissimo angolo. Percorrendo essi lo stesso spazio, arrivavano in circostanze simili, e vibrando all'unisono, il loro movimento univasi nel punto C, e si aveva luce aggiunta a più luce. Ma scostando uno de' due specchi da portarlo nella posizione di B', allora uno de'raggi percorrendo maggiore distanza, arrivato nel punto C, vibrando in senso contrario, i movimenti delle onde eteree neutralizzavansi, e conseguentemente ne risultava riposo ed oscurità in questo punto. Che se poi scostavasi più lo specchio A, sino a trovar un altra volta il periodo di movimento unisono al primo, e per consegnenza il punto di coincidenza, C restava illuminato come nell'altro caso. In siffatto modo si ebbero parimenti fasce scure *r* e luminose *c*, le quali facevan conoscer la lunghezza e la velocità di ogni ondulazione, e così la legge delle influenze simili e contrarie venne anche dimostrata.



Studiando Fresnel la legge secondo la quale i raggi luminosi, a cagione delle diverse distanze percorse, or si copulano ed or

si distruggono, potè trovare ch'essi si riuniscono secondo i periodi 1, 2, 3, 4, *d*, e si neutralizzano nelle posizioni intermedie $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$ $\frac{5}{2}$, $\frac{5}{2}$ $\frac{7}{2}$, *d*, essendo *d* la differenza de'cammini. In questo modo potè conoscere, che la lunghezza media delle ondulazioni luminose è circa mezzo millesimo di millimetro; ed egli giunse ancora a calcolare, che la millionesima parte di un secondo basta per produrre sino a 564,000 ondulazioni. Si è detta lunghezza media, perchè della stessa maniera che si è veduto provenire i suoni percettibili da ondulazioni di differente lunghezza, ora si ritiene parimenti che i raggi di diversi colori non son prodotti da onde eguali; cosichè quelle che cagionano in noi la sensazione del rosso, sono doppie di quelle che producono la sensazione del violetto ec. S'intende poi per *ondulazione intera* l'andata e ritorno della molecola vibrante; una sola andata, o un sol ritorno, conta per conseguenza una *mezza ondulazione*.

I corpi luminosi dunque contengono molecole in tutti gli stati possibili di vibrazione, e le velocità ch' esse imprimono alle onde eteree tanto differenti, non hanno alcun opera su la velocità di trasmissione, come succede dell'aria, che trasmette similmente i suoni più gravi, ed i suoni più acuti; imperciocchè se la successione delle condensazioni e rarefazioni, cioè delle onde condensate e delle onde dilatate, è più rapida, il raggio ch' esse comprendono si fa nella medesima proporzione meno grande. Or siccome da questa disuguaglianza di velocità nel movimento primitivo derivano onde di assai varia lunghezza, essendo del tutto omogeneo il mezzo elastico etereo, non potrebbe succedere alcuna ripetizione più rapida di vibrazioni se non quando variasse la lunghezza delle onde: il perchè il corpo luminoso deve imprimere all'etere oscillazioni di ogni velocità, le quali poi debbono per conseguenza produrre onde di lunghezze differentissime. Quelle che hanno una estensione tra 4 a 5 dieci millesimi di millimetro circa, possono produrre impressioni su l'organo della vista, le quali ripetute mercè le vibrazioni più o meno rapide delle onde eteree, producono poi in noi la sensazione di tutt'i colori, come succede delle vibrazioni più o meno rapide del corpo sonoro che trasmesse all'organo dell'udito danno la sensazione de' differenti suoni (1).

(1) La teorica dell'interferenze è un caso particolare della legge generale in meccanica, della soprapposizione cioè de'piccoli movimenti; dal che pare, che lo spostamento di una particella di un mezzo elastico, prodotto da due ondulazioni coesistenti, è la resultante degli spostamenti che ciascuna ondulazione produrrebbe separatamente; per conseguenza, la particella si muoverà secondo la diagonale di un parallelogramma, i cui lati sono le due ondulazioni. Se dunque le due ondulazioni si accordano esattamente in direzione, o quasi si accordano, il movimento che ne risulta sarà prossimamente eguale alla loro somma, e si opererà nella medesima direzione; se esse si fanno presso a poco opposizione l'una all'altra, il movimento che ne deriva sarà quasi eguale alla

332. Le sperienze precedenti, e le conseguenze dedotte, han servito di base alla *teorica delle onde luminose*. In questa teorica si suppone trovarsi le particelle dei corpi luminosi in uno stato di agitazione costante, e che esse hanno la proprietà di eccitar nel mezzo etereo vibrazioni regolari corrispondenti a quelle delle loro proprie molecole ponderabili; che in virtù della natura elastica dell'etere, una sua particella una volta posta in moto, comunica le sue vibrazioni alle particelle adjacenti le quali successivamente le trasmettono alle più lontane, cosichè l'impulsione primitiva trovasi trasmessa da particella a particella, ed il moto ondulatorio si precipita attraverso l'etere come un onda si dilata su le acque. La propagazione della luce si considera perciò simile all'espansione delle onde che si formano su le acque tranquille quando si percuotono in un punto. E se l'esperienza dimostra, che il moto progressivo della luce è uniforme e si opera in linea retta, le vibrazioni delle particelle eteree debbono farsi sempre perpendicolarmente alla direzione del raggio. Or considerando un raggio di luce isolato, potrà farsi un idea più semplice sul suo moto tremulo, supponendolo come una corda di lunghezza indefinita tesa orizzontalmente, fissa per un estremità e tenuta l'altra nella mano dell'osservatore. Se allora ed intervalli regolari s'imprima a questa corda un moto perpendicolare alla sua lunghezza, dovrà propagarsi in tutta la lunghezza della corda una successione di tremiti o ondulazioni uniformi ed eguali; e se le impulsioni regolari son date in diverse direzioni, come da alto in basso, da destra a sinistra, ed obliquamente, le ondulazioni successive avranno luogo parimenti in tutte le direzioni possibili. Un moto dunque analogo prodotto nell'etere e comunicato a'nervi ottici produrrebbe la sensazione della luce ordinaria. Da ciò risulta, che le ondulazioni che si muovono serpeggianti da un'estremità all'altra della corda, sono affatto indifferenti dal moto vibratorio perpendicolare di ciascuna particella della corda la quale non si allontana che quasi insensibilmente dal suo stato di riposo. Medesimamente nell'etere deve succedere che ciascuna particella vibri perpendicolarmente alla direzione del raggio; ma queste vibrazioni sono assolutamente differenti ed indipendenti dalle ondulazioni trasmesse attraverso dell'etere; come in un campo di biada o frumento le vibrazioni di ciascuna spiga sono indipendenti dalle ondulazioni che si precipitano da un estremità all'altra di questo campo, quando esso è agitato dal vento.

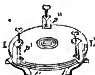
333. La intensità della luce dipende dall'ampiezza o dall'estensione delle vibrazioni delle particelle dell'etere, mentre che il

loro differenza, ed in ultimo se le ondulazioni sono eguali ed opposte, la risultante sarà zero, e la particella resterà in riposo.

suo colore deriva dalla loro frequenza. Or sapendosi dalla teorica che la durata della vibrazione di una particella di etere è in ragion diretta della lunghezza di un'ondulazione, ed in ragione inversa della sua velocità; sapendosi ancora che la luce si muove con una velocità di 162000 miglia (70,000 leghe) per secondo, misurando le lunghezze delle ondulazioni de'differenti raggi colorati, il numero delle vibrazioni per secondo corrispondenti a ciascun raggio, potrebb' esser facilmente calcolato. Così un corpo diafano, di una data spessezza ed a superficie, parallele, riflette e trasmette la luce bianca senza alterarla, ma quando è portato sotto forma di lamine assai sottili, tanto la luce riflessa che quella trasmessa appariscono colorate. Perciò vediamo irridate la superficie delle bolle di sapone. e quella dell'acciaro pulito e riscaldato ad un dato calore; france colorate su lo spato d'Islanda, sul gesso in lamine, dentro il cristallo di rocca ec., colori che consistono tutti in una successione di gradazioni di tinte disposte nel medesimo ordine, e totalmente indipendenti dal colore della sostanza, e determinate solamente dalla sua spessezza. Questa circostanza servì dopo a'fisici per aver la lunghezza delle ondulazioni di ciascun raggio colorato, e la frequenza delle vibrazioni delle particelle che le producono, come or diremo negli *anelli colorati*, § 336.

Anelli colorati ottenuti per riflessione e per rifrazione.

334. Newton aveva già osservato, che quando si soprappongono le due lenti di vetro LL', e si comprimono per mezzo delle viti $p\,p'p''$, le loro superficie piane, quando il fascetto di luce che vi cade è bianco e guardasi obliquamente, presentano nel mezzo sette anelli colorati. Adoperando Newton quest'apparecchio, osservò che i colori si succedevano nell'ordine seguente:



1° *Anello*, o 1° ordine di colori: Nero, turchino pallido, bianco brillante, giallo vivace, rosso cremisi.

2° *Anello:* Rosso di porpora scuro, o quasi violetto, turchino, verde giallastro imperfetto, giallo vivace, rosso cremisi.

3° *Anello:* Porpora, turchino, verde prato vivace, bel giallo, rosso garofano, cremisi.

4° *Anello:* Verde-azzurriccio scuro, garofalo, giallo pallido, rosso.

5° *Anello:* Verde-azzurriccio sbiadato, bianco, rosso garofano.

6° *Anello :* Verde-azzurro pallido, garofano pallido.

7° *Anello*: Verde azzurriccio assai pallido, garofano assai pallido.

Newton osservò, che dopo il 7° ordine, i colori divengono assai deboli, ed appena possono distinguersi. Gli anelli decrescono in larghezza, ed i colori si stringono più in più a misura che si discostano del centro. Quando la luce è omogenea, cioè che proviene da un sol raggio elementare dello spettro, gli anelli sono più larghi nel rosso e diminuiscono in ciascun colore dello spettro sino al violetto.

335. Indipendentemente dall'apparecchio di Newton, se avanti una finestra aperta si metta una lamina di vetro sopra una lente di una curva quasi insensibile, guardando obliquamente la sua superficie e comprimendo l'una contro l'altra, osservasi al punto in cui sono in contatto, un punto nero circondato da sette anelli di colori vivaci e tutti differenti gli uni dagli altri in ciascun'anello. Nel primo anello i colori, a partir dal punto nero, si succedono nell'ordine seguente: nero, azzurro assai pallido, bianco splendente, giallo, arancio e rosso. Negli altri sei questi colori sono differenti, come in quelli veduti nell'apparecchio di Newton, e nel 7° può conoscersi solo un verde azzurriccio sbiadato, ed un rossiccio anche sbiadato. Può provarsi ancora che questi anelli si formino tra le due superficie in contatto, applicando la faccia di un prisma triangolare sopra la lente, invece della lamina di vetro, guardando gli anelli attraverso il lato inclinato del prisma ch' è vicino l'occhio. Questa disposizione impedisce che la luce riflessa dalla superficie superiore si mescoli a quella della superficie in contatto, cosicchè gl'intervalli che separano gli anelli sembrano perfettamente neri.

Fresnel reputò il fatto degli anelli come una prova decisiva in favore della teorica delle ondulazioni, dappoichè dopo questa teorica, gl'intervalli che separano gli anelli debbono essere assolutamente neri, e l'esperienza lo conferma; al contrario nell'ipotesi di Newton essi debbono essere metà rischiarati, il che si trova smentito dall'esperienza.

336. Gli anelli dunque derivano dall'interferenza de'raggi; la luce riflessa da ciascuna superficie di contatto apparente, arriva all'occhio per cammini di lunghezza differenti, e produce alternativamente anelli colorati e neri secondo che le ondulazioni riflesse si aggiungono ovvero si distruggono. Questi anelli si hanno anche trasmettendo la luce attraverso lo stesso apparecchio, ma i colori sono meno vivi, e sono complimentari di quelli riflessi, e perciò il punto centrale è bianco.

La grandezza degli anelli aumenta col crescer l'obliquità della luce incidente, perchè lo stesso colore domanda uno spazio più grande tra i vetri per produrla, che quando la luce vi cade perpendicolarmente. Che se l'apparecchio è posto in uno de'raggi elementari dello spettro, gli anelli avranno tutti lo stesso colore di quello del raggio; e per conseguenza gli anelli saranno

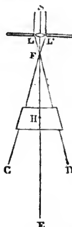
rossi, separati da intervalli neri nel raggio rosso, ec.; ma la loro grandezza varia per ciascun colore. Così nel raggio rosso essi sono più grandi e nel violettò più piccoli, diminuendo gli altri di grandezza nell'ordine de'colori prismatici.

Ne' due vetri adoperati da Newton, uno cioè piano, l'altro sferico, andando dal punto in cui si toccano, lo spazio che separa le due superficie deve aumentar gradatamente, cosicchè una certa spessezza dello strato di aria corrisponde a ciascun colore che nel sistema ondulatorio serve per misurar la lunghezza dell'onda che l'ha prodotto. Newton col mezzo di una misura diretta trovò, che i quadrati de'diametri delle parti più brillanti di ciascun'anello sono come i numeri dispari 1, 3, 5, 7, ec., conseguentemente gl'intervalli compresi tra i vetri a questi diversi punti, sono ne'medesimi rapporti. Nell'ipotesi delle onde quest'intervalli determinano la lunghezza delle ondulazioni, essendosi calcolata quella di un onda, presa dall'estremità rossa dello spettro solare per la 0,0006756 parte di millimetro, e quella dell'onda dell'estremità del raggio violetto, della 0,0004242 parte di un millimetro; e poichè la durata d'una vibrazione di una particella di aria, che produce un colore particolare qualunque con le sue infinite gradazioni di tinta, è direttamente come la lunghezza di un ondulazione di questo colore, ed inversamente come la velocità della luce, ne segue, che le molecole di etere che producono l'estremo rosso dello spettro solare, debbon compiere 458 milioni di milione di vibrazioni per secondo; e che quelle prodotte dall'estremo violetto ne compiono 727 milioni di milione nello stesso spazio di tempo. La lunghezza poi delle ondulazioni de'colori intermediari, ed il numero delle loro vibrazioni essendo intermediare tra quelle del rosso e del violetto, la luce bianca che si compone di tutt'i colori, deve per conseguenza essere un mescuglio di ondulazioni di ogni lunghezza tra i limiti dell'estremità violetta.

Il fenomeno degli anelli colorati, prodotto per riflessione e rifrazione, succede tanto nel vuoto che nell'aria, il che prova che la sola distanza compresa tra le superficie delle lenti poste in apparente contatto, e non l'aria ha opera nella produzione dei colori. Nondimeno se vi s'interpone l'acqua o l'olio invece di aria, gli anelli si accorciano, ma non soffrono alcun altro cambiamento.

Newton provò che la spessezza de'diversi mezzi, che corrisponde ad una tinta determinata, è in ragione inversa del loro indice di rifrazione, cosicchè il colore delle lamine dà il mezzo di conoscer la loro spessezza; e siccome negli anelli la posizione de'colori è invariabile, esse danno una scala fissa di paragone, che si disse *scala de'colori di Newton*, calcolando ciascuna tinta dal punto centrale inclusivamente, secondo l'anello a cui appartiene.

337. Ma non solo i colori periodici descritti derivano dal principio delle interferenze, perchè ne sono pararimenti conseguenza quelli delle piume così variate di certi uccelli, delle ali degl'insetti, le france colorate che accompagnano le ombre di tutt'i corpi rischiarati da un raggio di luce estremamente piccolo, gli anelli colorati che circondano uno stesso piccol raggio di luce ec. Così quando un esilissimo raggio di luce che entra in una camera oscura per un apertura fatta con un piccol ago sopra un diaframma opaco, si riceva sopra un vetro traslucido, il punto luminoso che si vede sul cartone alla distanza di c. 2 metri, è più grande che l'apertura da cui viene, ed in vece di esser circondato da un ombra, lo è da un seguito di anelli colorati separati da intervalli oscuri, e questi anelli son tanto più distinti quanto l'apertura da cui entra il raggio è più piccola. Supponiamo che i raggi S entrino per la lente biconvessa L L', a foco assai corto, in una camera oscura, pervenuti nel suo foco in F, dovranno uscirne divergenti seguendo le rette F C, F D per formare un immagine circolare nel muro opposto o sul cartone. Se una sottil lamina metallica che ha un foro in H, fatta con un piccolo ago, s'interponga sul passaggio di questi raggi, quando l'apertura H è veduta da E con una lente, essa sembra circondata da una serie di anelli colorati, la cui apparenza varia con la posizione relativa dell'apertura e dell'occhio, per rapporto al punto E. Se l'apertura H è poco meno di un millimetro di diametro, e che trovasi distante 6 piedi e mezzo da F, guardata da E, alla distanza di 6 decimetri circa, essa vedesi circondata da 7 anelli che hanno i colori seguenti :

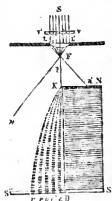


1° — Bianco, giallo sbiadato, giallo arancio, rosso scuro.
2° — Violetto, turchino, bianchiccio, giallo, rosso arancio.
3° — Rosso di porpora, indaco, azzurro verdiccio, verde vivo, verde giallo, rosso.
4° — Bel verde, bianco azzurriccio, rosso.
5° — Verde scuro, bianco azzurriccio sbadiato, rosso sbadiato.
6° — Verde assai sbadiato, rosso *idem*.
7° — France di verde e di rosso.

338. Quando la luce è bianca dà solo sette anelli che si dilatano e si ristringono, secondo che il diaframma è più o meno lontano dall'apertura che dà passaggio alla luce. Avvicinandolo troppo, gli anelli si soprapponongono gradatamente in modo, che le gradazioni o i sfumi delle tinte più vive e più intense si manifesta-

no verso il centro. Se la luce è omogenea, come per esempio il rosso, gli anelli sono rossi e neri alternativamente e più numerosi, variando la loro lunghezza col variare il colore elementare dello spettro. Le tinte delle france colorate che provengono dalla luce bianca, e la loro sparizione dopo il 7° anello, derivano dalla soprapposizione delle differenti serie di france di tutt'i raggi colorati, e le ombre di tutti gli oggetti sono terminate anche da france, colorate quando si presentano ad un raggio assai piccolo di luce. Così quando s' interpone a questo raggio il taglio di un coltello, o un capello, o una sottilissima falda di carta, il raggio invece di seguire il suo cammino rettilineo lungo il limite dell'ombra prodotta da uno di questi ostacoli, divergendo, si avanza per linee curve iperboliche; l'ombra dell'oggetto si fa più grande ed invece di esser terminata da luce bianca si vede circondata di france colorate che si alternano con zone nere, le quali sono tanto più distinte quanto più è stretta l' apertura da cui viene il fascetto di luce.

La figura qui sotto mostra quanto si è esposto. L L' è la sezione della lente a foco assai corto, fissa nell'apertura vv' di un imposta che chiude la camera, per cui si fa entrare per v v' il fascio di luce S L L', il quale pervenuto al foco F se si riceva sul taglio del coltello K N; i diversi raggi allontanandosene, si curvano seguendo le linee iperboliche K r, K r' K o, K o', K c, in luogo di portarsi direttamente sul diaframma S S', seguendo la retta K D, ed arrivando su l' ostacolo K N, in uno stato ondulatorio differente, interferendosi, forma una serie di france colorate r r' o o' c, lungo gli estremi dell'ombra del coltello KDS'N, portata sul piano S S'. La larghezza delle france varia con le distanze relative del taglio del coltello al punto F, ed esse sono indipendenti dalla forma e dalla densità dell' oggetto. Le ondulazioni dunque in questo caso sono in uno stato differente di vibrazione; esse si combinano per formar le france colorate, o si distruggono reciprocamente negl'intervalli oscuri. Queste france che circondano gli estremi di alcuni oggetti, furono scoperte nel 1665 da Grimaldi, ed esse diedero al Dott. Young il mezzo di provar che tanto queste che gli anelli colorati, sono il prodotto dell'interferenza della luce.



Da quanto si è esposto può dedursi, che il colore nelle sostanze materiali deriva da due cagioni differenti, cioè alcune, come le piume di paone e quelle di altri uccelli, i metalli irridati ec.

dalla legge delle interferenze, e le altre, come il cinabro, l'oltremare, le stoffe colorate, i fiori ec. dall'ineguaglianza di assorbimento de'raggi della luce bianca, il che come si è detto al § 311, deriva dall'azion chimica, e dalla natura chimica di quelle sostanze.

339. Si credè quasi impossibile conciliar questi fenomeni colla teorica delle ondulazioni, ma Herschel, e poi altri fisici, han dimostrato invece che essa sola può darne meglio ragione. E di fatti dice Herschel, se noi vogliamo spiegar l'estinsione della luce o quella delle zone oscure negli anelli colorati, con la teorica di Newton, obbligati a considerar la luce come corpo materiale, dobbiamo ammetter la *distruzione* della stessa materia, il che è fisicamente impossibile. Ma nella teorica dell'ondulazione, la risposta n'è semplice, perchè niente si oppone ad ammettere una *trasformazione* della luce dallo stato di moto in quello di riposo, nel cui ultimo caso succede l'oscurità. Ed ove si domandi, che diviene la luce? questa quistione si confonde con l'altra, cioè, che diviene il movimento? alla quale i principii ammessi in dinamica danno per risposta, che esso è perpetuo, dappoichè ogni movimento ne'corpi può annientarsi solo ipoteticamente, ma non mai in modo assoluto, potendo solo suddividersi, e tener le molecole materiali più o meno agitate anche nello stato di apparente riposo in cui sembrano starsi i corpi di cui fan parte, come si è detto nel trattar della quiete e dell'inerzia al 1.° volume di quest'opera; il che basta per comprender come quelle molecole debbano ad ogni cagione che ne alteri il loro riposo apparente, trovarsi agitate da infinite ondulazioni che si riflettono internamente, e che si propagano in tutt'i sensi attraverso il corpo, essendo interrottamente rinviate da tutt'i punti della sua superficie che percuotono successivamente. Da ciò si deduce che la soprapposizione di queste ondulazioni deve alla fine produrre la reciproca loro distruzione la quale, sarà tanto più compiuta, quanto più la forma del corpo è irregolare, e più numerose sono le riflessioni interne.

340. Rapportando poi Herschel l'assorbimento della luce alla suddivisione ed alla distruzione mutua delle vibrazioni dell'etere nell'interno de'corpi, pervenne alla spiegazione di altri fenomeni che solo si svolgono con la teorica delle ondulazioni. Supponendo che il mezzo etereo riempia lo spazio tutto, tanto fuora che nell'interno de'corpi, paragonandolo alla sua densità nel vuoto, l'etere che trovasi sparso negl'interstizii de'mezzi rifrangenti, deve aver meno elasticità, e questa deve decrescere coll'aumentar la rifrangibilità del mezzo, ed inconseguenza le ondulazioni della luce sono trasmesse con velocità minore nel vetro e nell'acqua che nello stesso etere esteriore. Subito che un raggio luminoso arriva su la superficie di una sostanza diafana riflettente, come

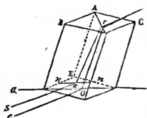
una lamina di vetro, esso comunica le sue ondulazioni all'etere che ne tocca e circonda la superficie, la quale diviene un nuovo centro di movimento, e due ondulazioni emisferiche si propagano da ciascun punto di questa superficie; l'una si avanza verso l'interno della sostanza del vetro con una velocità minore dell'ondulazione incidente, e l'altra è rimandata nell'aria, a traverso la quale diffondesi con una velocità equale a quella che aveva, arrivando su la superficie. Quando dunque la luce è rifratta, essa si muove nell'interno del vetro con una velocità minore di quella che prima aveva, e quando è riflessa, i raggi vi arrivano e sen vanno con la stessa velocità. Le particelle dell'etere che son fuora del vetro, e che comunicano il loro movimento alle altre particelle eteree dense e meno elastiche che sono nell'interno dello stesso vetro, possono considerarsi analoghe a quelle piccole palle elastiche di avorio che urtano contro le più grandi; perchè in questo caso, una porzione del movimento vien comunicato alle palle più grosse, mentre che le piccole ne sono riflesse. Le prime dunque producono *ondulazioni rifratte*, e le altre *ondulazioni riflesse*. E reciprocamente, quando la luce passa dal vetro nell'aria, l'azion che ne deriva, è simile a quella delle grosse palle che s'imbattono nelle piccole; perchè queste ricevono un movimento eguale a quello che produrrebbe un raggio rifratto, e la quantità di movimento ritenuto dalle grosse palle è eguale a quello che cagionerebbe l'ondulazione riflessa; dal che ne conseguita, che quando la luce passa a traverso una lamina di vetro, o di ogni altro mezzo di densità differente di quella dell'aria, deve sempre operarsi una riflessione su le due superficie. Ma vi ha questa differenza tra le due riflessioni, cioè, che una è prodotta da una vibrazione che si opera nella stessa direzione di quella del raggio incidente, e l'altra per una vibrazione che si fa in direzione opposta.

341. Siccome una sola ondulazione di aria prodotta da corpi sonori non basta per cagionar sull'organo dell'udito la sensazione del suono, anche una sola ondulazione di etere non può determinare su le fibre della retina la sensazione della luce. Per eccitar la visione, le vibrazioni delle molecole dell'etere debbono essere regolari, periodiche e ripetute, allo stesso modo che l'orecchio continua ad avvertire per qualche istante la sensazione del suono dopo l'impulsione che produce un suono continuo. E si crede per le stesse ragioni, che le fibre della retina continuino ancora a vibrare per circa un 8° di secondo dopo che la cagione eccitante è cessata. Così tutti sanno, che quando la luce viva ha prodotto una forte impressione su l'occhio, l'oggetto è ancora veduto per qualche istante, dopo chiuso l'occhio, per la continuazione delle vibrazioni eccitate su le fibbre della retina. Anche quando in pieno giorno, o nel bujo si comprime con le

dite il bulbo dell'occhio si ha una sensazione di luce più o meno intensa e colorata. Osservasi ancora, che alcuni colori assai vivi e molto rischiarati, a poco a poco sembrano diminuire d'intensità quando si prosegue a guardarli, ma se voltasi altrove l'occhio, o che si frapponga un diaframma opaco tra l'occhio ed il colore, togliendolo dopo qualche tempo e guardando nuovamente il colore, esso apparirà un altra volta vivo ed intenso come prima. Lo stato poi normale o innormale dell'occhio, al che l'età ancora vi ha parte, contribuisce molto a queste diverse sensazioni.

Doppia rifrazione.

342. Quando un raggio di luce passa per alcune sostanze diafane, e dà origine a due raggi rifratti, o fa veder doppie immagini, i corpi che posseggono siffatta proprietà si son detti *bi-rifrangenti*, cioè doppiamente rifrangenti, o dotati della *dappia rifrazione*. Questa proprietà, che non è la stessa ne'liquidi e nei gas, è poi comune a tutti que'cristalli o poliedri che non hanno per forma primitiva un cubo o un teatraedro regolare. Ma fra tutt'i corpi bi-rifrangenti, quello che meglio convenga per le sperienze che possono stabilir la teorica di questo fenomeno, è il carbonato di calce romboedrico, conosciuto col nome di *spato* d'Islanda, il quale si divide naturalmente in rombaedri quando si rompe, ed è suscettivo di un clivaggio romboidale perfetto. Così quando il fascio di luce Rr cade su la faccia di questo romboedro B A C, si vede esso separarsi in r in due raggi eguali che si rifrangono nelle direzioni di rO, re; arrivati poi in O ed in e essi si rifrangono di nuovo entrando nell'aria, seguendo le direzioni Oe, es, che sono parallele fra loro, ed al raggio incidente Rr. Il raggio rO è rifratto secondo la legge ordinaria, cioè che il seno degli angoli d'incidenza e di rifrazione sono tra essi in un rapporto costante, e che i raggi Rr, rO, Oe sono tutti nel medesimo piano. Il raggio re al contrario si allontana da questo piano, e la sua rifrazione non siegue lo stesso rapporto costante de'seni, perciò se li è dato il nome di *raggio straordinario*, mentre rO è disegnato con quello di *raggio ordinario*. Resulta da questa bisezione del raggio, che un punto d'inchiostro posto in O veduto da r sembra doppio, ed uno si vede in O ed un altro in e. Che se poi il punto è su la carta e si faccia sopra di esso girar la faccia del cristallo, si ve-



drà che l'immagine di *e*, che appartiene al raggio straordinario, gira intorno il punto O che resta in riposo, perchè prodotto dal raggio ordinario. Quando poi su la carta si traccia una linea coll'inchiostro, ponendovi lo spato d'Islanda se ne veggono due, e se girasi il cristallo si vede a poco a poco avvicinarsi le due linee sino al punto da confondersi in una sola, quando essa trovasi nella direzione della diagonale del cristallo, che dicesi *asse ottico*. Un raggio dunque di luce che passa a traverso lo spato d'Islanda, o di altri corpi bi-rifrangenti, in certe direzioni si didivide i due raggi polarizzati, ed in altre in un solo raggio rifratto, come nella rifrazione ordinaria.

Cristalli ad uno ed a due assi—I corpi dotati della doppia rifrazione sono ad *un asse*, o a *due assi*. L'asse, essendo la direzione in cui il raggio non si divide mai, cioè non patisce la doppia rifrazione, ma la rifrazione semplice o ordinaria solamente, se osservasi una direzione d'indivisibilità nel cristallo bi-rifrangente, esso è ad un asse, se due, il cristallo è a due assi. Un raggio dunque non patisce mai la doppia rifrazione quando traversa un cristallo nella direzione del suo asse, o parallelamente alla sua sezione principale, cioè secondo un piano parallelo all'asse del cristallo.

Un cristallo ad un asse, come è lo spato d'Islanda, può considerarsi come la riunione di molecole romboedriche disposte parallelamente le une accanto le altre, e l'asse ottico di ciascuno di questi piccoli rombeedri è la linea che passa pe' due angoli solidi ottusi, il perchè in questo cristallo debbono esservi tanti assi ottici quante sono le molecole, ma queste poi debbono trovarsi disposte in modo, che tutti gli assi siano paralleli fra loro, e perciò in tutt'i cristalli ad un asse, l'asse ottico e l'asse cristallografico coincidono sempre. Quando dunque un raggio passa lungo l'asse indicato, o gli cade normale, si divide in due altri raggi inclinati l'uno all'altro; quello che segue la legge della rifrazione ordinaria, il suo piano di rifrazione coincide con quello d'incidenza; i seni di rifrazione e d'incidenza sono in un rapporto costante, per lo raggio ordinario, ma il secondo raggio, cioè lo straordinario, non siegue la stessa legge, il suo piano di rifrazione non coincidendo con quello d'incidenza, è perciò i seni di rifrazione e d'incidenza non sono in un rapporto costante.

Nel cammino del raggio straordinario si osservano due direzioni distinte. 1° Esso resta nel piano d'incidenza quando questo coincide col prolungamento della sezione principale, che è un piano condotto dall'asse perpendicolarmente ad una faccia naturale o artifiziale; perciò quando un cristallo a facce parallele si fa girar nel suo piano, e si siegue l'immagine straordinaria, si vedrà distruggere un cerchio intorno l'immagine ordinaria; essa poi passa due volte nel piano d'incidenza quando questo conci-

de con la sezione principale alla faccia da cui entra. 2.° Il raggio straordinario ha lo stesso piano di rifrazione del raggio ordinario, quando il raggio naturale ha per piano d'incidenza un piano perpendicolare all'asse del cristallo.

In alcuni cristalli ad un asse osservasi, che nella separazione de' due raggi rifratti, il raggio straordinario or si allontana più dall' asse del cristallo, come se vi fosse in questo una forza ripulsiva, ed al contrario in altri questo stesso raggio se ne avvicina. Questa circostanza o caso particolare per alcuni cristalli ad un asse, ha fatto dividerli in *cristalli ad un asse ripulsivi, o negativi, e cristalli attrattivi o positivi*. Ne rapporteremo i principali, o quelli che si appartengono a sostanze più comuni nel quadro seguente:

Cristalli ad un asse.

Negativi	Positivi
Spato d'Islanda	Zircone
Tormalina	Quarzo
Berillo	Stannite
Apatite	Boracite
Corundo	Apofillite
Rubellite	Dioptase
Smeraldo	Argento rosso
Mica	Ferro ossidato
Cloruro di calcio	Iposolfato di calce
Cinabro	Cristallo
Mellite	Idrato di magnesia
Molibdato di piombo	

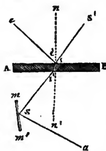
Cristalli a due assi.	*Angoli degli assi.*
Carbonato di barite e di Strontiana	6,56
Alcune miche	6
Arragonite	18,18
Solfato di magnesia	37,24
—— di barite	37,40
Talco	7,24
Cimofano	27,51
Anidrite	28,7
Borace nativo	38,48
Stilbite	41,42
Lepidolite	45,0
Apofillite	35,8
Clorato di potassa	82
Acido succinico	90
Acido citrico	70,29
Acetato di piombo	70,25
Feldspato	63
Fosfato di soda	55,20
Comptonite	56,6
Sale seignette	80
Solfato di ferro	90

Polarizzazione de' raggi luminosi.

343. Nella rifrazione della luce, si è detto, che un raggio di luce ordinaria, essendo omogeneo presenta le stesse proprietà in tutti i punti della sua periferie, e quando incontra una lamina di un corpo diafano qualunque, perpendicolarmente alla sua superficie, la traversa in ogni posizione, per rispetto ad un piano condotto arbitrariamente per l'asse del raggio luminoso. Ma per lo contrario quando un raggio di luce è *polarizzato*, esso manca d'omogeneità, ed è dotato di lati distinti, e trasmesso o intercettato, secondo la disposizione di certe lamine di corpi cristallizzati, relativamente ad uno de' loro lati. Il perchè volendo polarizzare un raggio ordinario di luce, basta farlo passare a traverso questi corpi cristallizzati, ovvero rifletterlo sotto certi dati angoli sopra alcune sostanze levigate, o in ultimo trasmetterlo a traverso una serie di lamine oblique di vetro o altro corpo diafano. La polarizzazione dunque della luce può succedere per *riflessione*, *rifrazione semplice*, e per *doppia rifrazione*.

Quanto si è esposto ne' § 163 e 164, dalla pag. 147 in poi, su la polarizzazione de' raggi calorifici, tanto per *riflessione* che per *rifrazione*, ha attenenza anche con la polarizzazione dei raggi luminosi. Aggiungeremo solo qualche altro modo di polarizzazione per *semplice* e *doppia rifrazione*.

Polarizzazione per rifrazione semplice. Quando si fa cadere su la lamina di vetro A B un raggio naturale S', sotto un' incidenza di 35°, 25', esso si divide in due parti, l'una che è riflessa nella direzione di I*e*, è compiutamente polarizzata, l'altra è rifratta secondo II', ed esce parallela al raggio incidente. Analizzando il raggio rifratto I' S col mezzo di una lamina di vetro o un cristallo di calce carbonata, si vedrà che la luce è in parte polarizzata in un piano perpendicolare al piano di rifrazione, vale a dire, che se il raggio rifratto si riceva su lo specchietto di vetro *m m'*, inclinato sul raggio a 35° 25', l'intensità della luce riflessa varia secondo la posizione del piano col raggio, dal che segue, che il raggio è polarizzato; ma siccome la riflessione non è del tutto distrutta, si avrà che il raggio non è intieramente polarizzato; dappoichè la posizione dello specchio corrispondente al *minimum*, succedendo quando il secondo piano di riflessione è parallelo al primo, deve necessariamente seguirne, che il raggio è in parte polarizzato perpendicolarmente al piano di rifrazione.



344. Una tormalina bruna, o verde, che è un minerale generalmente cristallizzato sotto forma di prismi allungati, se tagliasi longitudinalmente, cioè parallelamente all' asse del prisma, in lamine della spessezza di circa un millimetro, e che le superficie sieno dopo ben levigate, potrà, attraverso di queste, vedersi gli oggetti luminosi come si veggono attraverso una lamina di vetro colorato. Se poi una di queste lamine si tenga perpendicolarmente tra l'occhio ed una candela, e si giri lentamente nel suo proprio piano, l' immagine della candela non prova alcuna alterazione, ma se questa è tenuta in una posizione fissa col suo asse, o la sua sezione longitudinale in una posizione verticale, e che s'interponga tra questa e l' occhio una seconda lamina di tormalina, parallela alla prima, e poi si faccia girar lentamente questa seconda lamina nel suo proprio piano, si avvertirà allora un cangiamento rimarchevole avvenuto nella luce, dappoichè l'immagine della candela sparisce ed apparisce alternativamente in ciascun quarto di rivoluzione della lamina, passando continuamente e gradatamente per tutte le gradazioni di chiarezza, dalla luce più viva sino alla sua sparizione totale, o al meno quasi totale, per riapparir dopo, aumentando inversamente di splendore, come erasi a poco a poco estinto. L'effetto deriva dalle posizioni relative delle lamine. Così quando le sezioni longitudinali delle due lamine sono parallele, la chiarezza dell'immagine è al suo *maximum*, e quando gli assi delle sezioni s' incrociano ad angoli retti, l' immagine allora della candela si estingue. La luce quindi, passando attraverso la prima lamina di tormalina ha acquistata una proprietà affatto differente dalla luce diretta della candela, e perciò si dice che essa è polarizzata. La luce diretta penetrerebbe nella seconda lamina anche in tutte le direzioni, mentre il raggio rifratto non può traversarla in certe posizioni, ed in altre non vi passa affatto per essersi il raggio rifratto già polarizzato quando è passato attraverso la prima lamina di tormalina. L'esperienza dunque prova, che la luce polarizzata ha la proprietà di non trasmettersi in certe posizioni attraverso una lamina di tormalina che l' e perpendicolare, e si trasmette prontamente in altre posizioni perpendicolari alle prime. La sezione di massima oscurità, immaginata dentro il raggio di luce, dicesi *piano di polarizzazione*.

345. Non solo le tormaline hanno la proprietà di polarizzar la luce, ma ancora tutti que'cristalli che producono la doppia rifrazione. E questo stesso effetto si ha quando un raggio di luce cade sopra un mezzo qualunque trasparente che abbia in tutta la sua estensione la medesima temperatura, densità, e struttura, come pe' liquidi, pe'gas, pel vetro ec. Alcuni minerali cristallizzati regolarmente che rifrangono la luce in un sol fascio luminoso secondo le leggi della rifrazione ordinaria, vale a dire che

il raggio passando dall'oggetto all'occhio, a traverso la superficie rifrangente, resta nello stesso piano perpendicolare a questa superficie. Quasi tutti gli altri corpi, come la maggior parte dei minerali cristallizzati, le sostanze animali e vegetali, la gomma, le resine, le materie gelatinose, e tutt'i corpi solidi diafani d'ineguale densità, quando si portano a varie temperature, o pressione, posseggono la proprietà di raddoppiar le immagini di un oggetto veduto attraverso di essi in certe direzioni.

Così Fresnel, comprimendo un sistema di 4 prismi di vetro, posti in senso contrario con le loro facce, in modo, da comporne un paralellepipedo allungato, lo rese bi-rifrangente, dal che dedusse doversi derivar l'effetto da un maggiore avvicinamento molecolare in que'cristalli dotati della doppia rifrazione, e perciò quest'effetto deve prodursi in tutti que' corpi che posso acquistar siffatta proprietà sia per compressione, sia per riscaldamento ineguale.

Fresnel vide scemar così la doppia rifrazione allorchè un rombaedro di calce carbonata si avvicinava al cubo dopo averlo riscaldato, e lo stesso ebbe riscaldando la calce solfata, dal che dedusse doversi produrre i fenomeni ottici de'cristalli ad un assè comprimendo il vetro o dilatandolo in un verso, e que'dei cristalli a due assi, comprimendolo, o dilatandolo secondo due direzioni rettangolari a gradi differenti. Così comprimendo, riscaldando o raffreddando prontamente molte sostanze che prima non erano dotate dalla doppia rifrazione, potè ottener che queste l'acquistassero con tali mezzi.

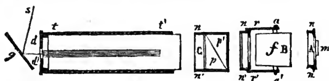
346. — Tra le proprietà più caratteristiche della luce polarizzata, noteremo le seguenti:

1.° Un raggio polarizzato dà una sola immagine nel passare attraverso un prisma bi-rifrangente, quando la sua sezione principale è parallela o perpendicolare al piano secondo il quale il raggio è riflesso e polarizzato.

2.° Un raggio polarizzato che cade sopra una lamina di vetro sotto un angolo di 35,° 25,° non patisce alcuna riflessione, quando il piano d'incidenza sopra questa seconda lamina è perpendicolare al piano d'incidenza su la prima lamina ove il raggio si è riflesso e polarizzato.

3.° Un raggio polarizzato non si trasmette attraverso una lamina di tormalina il cui asse è parallelo al piano di riflessione, ma vi si trasmette tutto, quando l'asse della tormalina è perpendicolare al piano di riflessione.

347. Per comprovar le proprietà sopradette, si usa l'apparecchio che vedi quì sotto; $t\,t'$ è un tubo di ottone aperto che



porta in un estremo il diaframma $d\,d'$ che ha una piccola apertura per limitar la quantità di luce; g è uno specchio di vetro nero, o meglio di ossidiana, affinchè la luce si polarizzi per riflessione su questo specchio; l'asse del tubo tt' forma con essa un angolo di 35°, 25'; $n\,n'$ è un anello che entra per confricamento, come ne'cannocchiali, nel tubo $t\,t'$, e che può girare intorno l'asse del tubo; $p\,p'$ è un *prisma acromatico bi-rifrangente*, composto del prisma di spato d'islanda p', e del prisma di cristallo p; $r\,r'$ sono delle traverse che portano il perno $a\,a'$ sul quale può girar lo specchio di vetro nero g; m è una lamina sottile di tormalina, le cui due facce sono parallele all'asse. Nelle sperienze diverse, può adattarsi al tubo uno de'tre pezzi A, B, C, secondo le circostanze, e l'apparecchio dicesi *analizzatore*.

Per verificar le tre proprietà essenziali della luce polarizzata, si situa prima nel tubo $t\,t'$ il prisma bi-rifrangente C, e si fa girar l'anello $n\,n'$. Il raggio polarizzato dà una sola immagine quando la sezione principale di questo prisma (piano parallelo all'asse) è parallela o perpendicolare al piano di riflessione; il che succede in quattro posizioni rettangolari, considerate l'una per rapporto all'altra, cioè all'*azimut* zero, a 90°, a 180°, a 270°. Si sostituisce dopo al prisma bi-rifrangente C, lo specchio mobile f, che sta su l'altra parte B dell'apparecchio, e se li dà un inclinazione tale, che il raggio polarizzato lo incontri sotto l'angolo di 35°, 25', situando l'occhio in una posizione convenevole per veder l'immagine riflessa. Facendo allora girar l'anello, e per conseguenza lo specchio, senza cambiar l'inclinazione di questo, si vedrà che l'immagine riflessa è compiutamente estinta quando il piano di riflessione sul secondo specchio è perpendicolare al piano di riflessione sul primo. (v. § 349).

348.— Il fenomeno della luce non venne abbastanza spiegato col sistema dell'emissione (V. la nota al § 163), ma con quello dell'ondulazioni potè darsi ragione de'primi fenomeni osservati da Malus, e di tutti gli altri che vi hanno rapporto. Così nella polarizzazione, si suppone che le vibrazioni dell'etere si facciano ne'raggi ordinarii in tutte le direzioni perpendicolari alla linea di propagazione del raggio polarizzato, ma che quando il

raggio è passato per un cristallo bi-rifrangente, o in generale quando è polarizzato, sieno ancora perpendicolari alla direzione del raggio, facendosi in un raggio in una sola direzione, e se i raggi sono due, in due piani normali l'uno all'altro, come due corde tese che vibrano una in un piano orizzontale, l'altra in un piano verticale. Così i due raggi di luce che escono da una sostanza bi-rifrangente, come quelli che escono dallo spato d'Islanda (§ 342), sono paralleli, e polarizzati ne'piani perpendicolari l'uno all'altro. I due raggi paralleli O *e*, *e s*, si trovano polarizzati nell'uscir dal cristallo bi-rifrangente, ed in tutti due le molecole eteree compiono le loro vibrazioni perpendicolarmente alle linee O *e*, *e s*. Tutte volte, in uno, queste vibrazioni si compiono nel piano dell'orizzonte, mentre che nell'altro le vibrazioni si compiono nel piano verticale, perpendicolare al primo. Ma può ciò meglio comprendersi considerando il cambiamento prodotto nella luce dall'azione del corpo polarizzante. Così, essendo dimostrato che le ondulazioni dell'etere che producono la sensazione della luce ordinaria, si compiono in tutt'i piani possibili, perpendicolarmente alla direzione in cui si muove il raggio; ciò non succede quando il raggio ha attraversato la sostanza bi-rifrangente, perchè allora la luce si avanza in due raggi paralleli le cui ondulazioni è vero, che sono traversali alla direzione de' raggi, ma esse compionsi ne'piani perpendicolari l'uno all'altro, come due corde parallele tese di cui una compie le sue ondulazioni in un piano orizzontale e l'altra nel piano verticale. L'azione dunque polarizzante dello spato d'Islanda, e quella di tutte le sostanze bi-rifrangenti, consiste nel separare un raggio di luce ordinaria, le cui ondulazioni si compiono in tutt'i piani, in due raggi paralleli le cui ondulazioni sono contenute ne'piani perpendicolari l'uno all'altro. Il raggio di luce ordinario può paragonarsi ad una bacchetta cilindrica, mentre che i due raggi polarizzati sono come due righe parallele, cioè appiattiti; il cilindro inclinato in un dato modo sopra una superficie larga, può girare attorno al suo asse senza cambiar le sue relazioni con la superficie, ma quelle della riga variano con la posizione de' suoi spigoli. La *trasmissione* e la *non trasmissione* alternativa di uno di questi raggi appiattiti col mezzo della tormalina, possono paragonarsi alla facilità con cui una falda di carta passa tra le aperture longitudinali de'fili di ferro di una gabbia, ed all'impossibilità di farvela passare quando se li presenta in una direzione opposta, cioè trasversale alle aperture di que'fili della gabbia. La voce dunque *polorizzazione*, prescindendo da ogni ipotesi, spiega bene le proprietà che danno risultamenti opposti in direzioni opposte, e perciò queste proprietà a ragione si son dette *polari*, per alluderle a quelle che presentano i poli simili e contrarii di una calami-

ta ec. Ma nell'ipotesi dell'emissione non può darsi alcuna ragione de'fenomeni di polarizzazione, a meno che non si creino altre ipotesi del tutto ipotetiche.

349. Ma fra tanti apparecchi detti *analizzatori*, può usarsi lo strumento di Nicol, che si conosce col nome di *prisma* o *analizzatore* di Nicol; *prisma*, perchè è composto di spato d'Islanda e vetro congiunti in forma prismatica, *analizzatore* perchè serve a distinguer la luce ordinaria da quella polarizzata, e a determinare i mutamenti che patisce un raggio lucido ridotto in questo stato per l'azione di certi corpi.

Il prisma di Nicol è una conseguenza della riflessione totale. Lo spato d'Islanda, cristallo bi-rifrangente, può ridursi a dare una sola immagine, quando è tagliato in una certa direzione a guisa d'alto e stretto prisma, cioè tagliandone un lungo parallelepipedo in due per un piano perpendicolare al piano delle grandi facce delle basi, e che passa per le sommità ottuse le più avvicinate, unendo dopo le due parti per mezzo del balsamo del Canadà, si ha così il *prisma di Nicol*, il quale invece rappresenta un parallelepipedo. Ma ora tal prisma, che si è detto semplicemente bi-rifrangente, si costruisce con un altra metà non della stessa sostanza, ma di vetro limpido della stessa forma congiunti insieme anche in modo da formare un paralellepipedo, che si chiude in un tubo. Guardando dall'estremità di questo tubo un dato raggio lucido, e girando nello stesso mentre lo strumento intorno il proprio asse senza fargli cambiar direzione, non si avrà alcuna differenza nella intensità della luce trasmessa, qualora il raggio incidente si trovi allo stato ordinario, ma s'è polarizzato, le alterazioni derivano dalla rotazione intorno all'asse, e ad ogni rivoluzione la luce manifestasi due volte con tutta la sua energia, e due volte sparisce compiutamente. Queste posizioni, come si è detto per le tormaline, son poste in una croce rettangolare che divide longitudinalmente il tubo ed il paralellepipedo interno in quattro parti eguali; altrimenti, condotti per l'asse due piani per la detta croce, il raggio polarizzato si trasmette secondo uno di essi piani, ed è compiutamente intercettato nella direzione normale. Questo passaggio si è detto che non si fa per salti, ma gradatamente, passando dal massimo di chiarezza all'estremità di un arco di 90°, all'oscurità, dopo che lo strumento avrà descritto un altr'arco di 90°, ed al contrario aumenta di nuŏvo da questo punto gradatamente per produrre i medesimi fenomeni nell'altra metà della circonferenza.

Fatta nel modo espressa l'osservazione, ove non succeda alcun cambiamento nella disposizione dello strumento, le due sezioni normali della luce viva e dell'oscurità restano dirette verso gli stessi punti dello spazio; e se il tubo porta un contatore con l'indice perpendicolare all'asse, e gira dentro il circolo diviso, ed

invariabilmente fisso un sostegno, ad ogn'istante della rotazione l'indice segnerà la distanza angolare al piano di polarizzazione del raggio luminoso. Che se all'opposto, lasciato l'indice fisso su la sezione di massima oscurità, quando il raggio lucido arriva a cambiar la posizione del suo piano di polarizzazione per effetto di qualche forza esterna, converrà allora spinger l'indice a destra ovvero a sinistra sino a raggiunger nuovamente la sezione di massima oscurità; l'arco così descritto darà la misura della rotazione che avrà patita il piano di polarizzazione. Nella *polarizzazione circolare* farem conoscer come certe sostanze diafane, interposte sul passaggio della luce polarizzata, hanno appunto la proprietà di far percorrere un angolo più o men grande al suo piano di polarizzazione; le quali sostanze si son dette perciò dotate della *proprietà rotatoria*, o della *rotazione*. Uno de'loro caratteri invariabili si è, che l'azione esercitata da esse sul raggio luminoso, *rimane invariabile sotto qualunque distanza e disposizione relativa delle loro molecole*, quando la natura e la grossezza dello strato interposto resta la stessa.

350—*Polarizzazione per doppia rifrazione*—Da quanto si è premesso su la doppia rifrazione, e su i raggi polarizzati nei corpi bi-rifrangenti ne emerge, che i due raggi che escono da questi corpi son tutti due polarizzati, ma in piani differenti, cioè, il raggio ordinario nel piano d'immergenza, ed il raggio straordinario ha tutte le proprietà della luce polarizzata per riflessione sul vetro, sotto l'angolo di 35°, 25', perchè il raggio straordinario si comporta come la luce polarizzata per rifrazione sotto lo stesso angolo di 35°, 25', come si è detto precedentemente. Può ciò provarsi esaminando successivamente ciascuno di questi raggi col prisma acromatico bi-rifrangente descritto, ricevendo il raggio polarizzato riflesso e polarizzato rifratto sul prisma. La sezione principale del prisma essendo parallela al piano di polarizzazione, si avrà una sola immagine, ma girando un poco il prisma, l'immagine straordinaria si mostra, e si fa più distinta col girar dippiù il prisma; e quando si porta sino ad un angolo di 45°, le due immagini mostreranno la stessa intensità. Al di là poi di quest'angolo, a misura che più si avvicina al punto ove il prisma trovasi perpendicolare al piano di riflessione, ed in cui l'immagine si estinguerebbe, si vedrà questa a poco a poco diminuir nell'intensità sino che dileguasi del tutto, quando il prisma arriva ad un inclinazione di 90.° A partir da questo momento, l'immagine straordinaria si fa sbiadata, e l'immagine ordinaria apparisce ed aumenta d'intensità sino a 180°, ove anche questa sparisce. Effetti analoghi, ma in senso inverso, quanto alla persistenza delle immagini, si mostrerebbero ove si cominciassero le sperienze col raggio polarizzato per rifrazione semplice, o col raggio straordinario che risulta dalla rifrazione doppia.

351—*Polarizzazione circolare ed ellittica*—Fresnel ha dato il nome di *polarizzazione circolare* ad un fenomeno osservato da Arago nelle lamine di cristallo di rocca tagliate perpendicolarmente all'asse, e che posteriormente studiata da Biot, ha ricevuto maggiore estenzione ed importanza per la scienza. La produzione della polarizzazione circolare ed ellittica, per riflessione interna della luce prodotta dal vetro a specchio, è una delle più rimarchevoli. Fresnel ha dimostrato, che se la luce polarizzata con qualunque metodo ordinario, è due volte riflessa nell'interno di un romboedro di vetro di una forma determinata, le vibrazioni dell'etere perpendicolari al piano d'incidenza, sono ritardate di un quarto di una vibrazione, il che fa descrivere alle particelle vibranti un elica circolare, o una curva simile al *cava-turaccio* (tire-bouchon). Ciò non succede se non quando il piano di polarizzazione è inclinato di un angolo di 45°, a quello d'incidenza. Che se questi due piani formano un angolo più grande o più piccolo, le particelle allora vibranti si muoveranno in elica ellittica, cioè come quella curva che si ha quando si avvolge un filo metallico attorno una bacchetta ovale ovvero un fuso. Queste curve voltano ora a dritta, ora a sinistra, secondo la posizione del piano incidente.

352—Nel fenomeno della polarizzazione ellittica e circolare Fresnel paragonò, per analogia, il movimento del mezzo etereo ad una corda tesa, la cui estremità venga agitata ad intervalli eguali e regolari da un moto vibratorio limitato ad un solo piano; la corda allora prenderà la forma di una curva ondeggiante, contenuta tutta in questo piano. Or se a questo movimento se ne aggiunga un altro eguale e simile, ma perpendicolare al primo, la corda dovrà prender la forma di un elica ellittica, la sua estremità descrivere un ellisse, e ciascuna particella, in tutta la sua lunghezza, seguir successivamente la stessa direzione. Ma ove il secondo sistema di vibrazione cominciasse esattamente un quarto d'ondulazione più tardi del primo, la corda dovrebbe assumer la forma d'un elica circolare, o quella del rampinetto, o *cava-turaccio*; la sua estremità muoversi uniformemente in cerchio, e tutte le particelle di cui si compone acquistar successivamente lo stesso movimento. La polarizzazione circolare dunque, e la ellittica, sembra che possano esser prodotte dalla composizione de' movimenti di due raggi ne' quali le particelle dell'etere vibrano ne' piani perpendicolari l'uno all'altro.

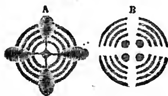
353–Si è detto più avanti, che tutte le lamine di un cristallo ad un asse, tagliate perpendicolarmente a quest'asse e che ricevono normalmente un raggio di luce polarizzata, lo trasmettono senza alterazione, ma tra queste il quarzo ne fa una eccezione. In questo cristallo, quando anche il raggio traverserebbe lo stesso asse ottico, punto in cui non vi ha doppia rifrazione, la sim-

metria primitiva del raggio sarebbe nondimeno distrutta, ed il piano della polarizzazione primitiva devierebbe sia a destra che a sinistra dell'osservatore, di un angolo proporzionale alla spessezza della lamina di quarzo. Questo movimento angolare del piano di polarizzazione, al quale si è dato il nome di *polarizzazione circolare*, e che è una vera *rotazione*, è dimostrato più chiaramente da'fenomeni che presentano gli *anelli colorati*.

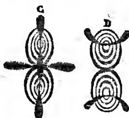
La quantità di questa rotazione si trova ricevendo il raggio che ha traversato il quarzo sul prisma acromatico bi-rifrangente, e per estinguer le due immagini, o in altri termini, perchè il piano di polarizzazione sia parallelo alla sezione principale del prisma, fa duopo far girar questo di una certa quantità a destra o a sinistra, per aver da questa quantità la misura della rotazione che si è operata nel piano di polarizzazione.

354. *Anelli colorati ne'cristalli ad un asse*—Per osservare gli anelli colorati si fa uso della *molla a tormalina* che qui vedi, la quale ha in *e e'* due lamine di tormalina. Or quando si mette tra queste due tormaline una lamina di spato d'Islanda, della spessezza di 1 a 20, a 30 millimetri, perpendicolare all'asse, l'occhio posto dietro la seconda tormalina, guardando in alto nella direzione del cielo attraverso questo sistema di lamine, vedrà una serie di anelli colorati e concentrici, ora uniti, ora frastagliati, al tutto analoghi a quelli disegnati nelle figure qui sotto A B, il cui sistema vedesi in A tagliato da una croce nera, se una lamina di tormalina è normale all'altra, e tanto l'immagine sarà più dilatata quanto minore è la spessezza della lamina. Che se girisi dopo la tormalina in modo che sia parallela all'altra, la croce diviene bianca, ed in tutt'i punti l'immagine è complementaria alla prima, come vedesi in B. Ed in ultimo, se le tormaline sono solamente oblique, si vedrà anche la croce nera di A che si altera, gli anelli si spostano, ed il rovesciamento si compie a poco a poco sino a passar dalla fig. A alla fig. B, o viceversa, secondo che si passa dall'incrocicchiamento al parallelismo, ed al contrario. La posizione della lamina della sostanza bi-rifrangente e indifferente, perchè essa non modifica in alcun modo i fenomeni, a meno che non offrisse de'punti di una cristallizzazione irregolare. Adoperando diverse sostanze bi-rifrangenti, si avranno queste immagini più o meno svariate.





355. *Anelli colorati ne'cristalli a due assi*—Ne'cristalli a due assi i fenomeni sono presso a poco analoghi. Così ponendo una laminetta di nitrato di potassa, tagliata perpendicolarmente all'asse del cristallo, nella molla a tormalina di sopra, tra le due lamine di tormalina, disposte in modo che i loro assi si taglino ad angolo retto, quando girasi la laminetta di nitro, in una certa posizione si vedranno gli anelli colorati come in C, e se, restando immote le tormaline, girisi la laminetta nel suo piano per un ottavo di rivoluzione, l'immagine C si anderà gradatamente trasformando in quella che vedi in D, in cui la croce nera è mutata in curve iperboliche; ma se variasi ancora l'angolo tra gli assi delle due lamine di tormaline, le immagini appariscono assai più complicate.



356. Dalle sperienze di Biot risulta, che i diversi colori provano nel piano di polarizzazione rotazioni tanto più grandi, quanto essi sono più rifrangibili. Così una lamina di quarzo della spessezza di 1 millimetro, ha una rotazione, pel rosso estremo dello spettro, che è il meno rifrangibile, di 17°, 29′, 47″, e pel violetto, che è il più rifrangibile di tutti, di 44, 4′, 58″. Da questa grande differenza risulta, che un raggio di luce bianca polarizzato, si divide in raggi di tutt'i colori polarizzati in piani differenti. Che se poi questo raggio si scomponga in due altri raggi polarizzati ad angolo retto, facendolo passare attraverso un prisma bi-rifrangente, i colori allora si dividono in proporzioni disuguali tra i due raggi che pruducono le immagini colorate, l'una complimentare dell'altra. Questi colori poi cambiano quando si gira il prisma, e nel corso d'una mezza rivoluzione si vedrà, che se p. e. il colore dell' immagine straordinaria era rosso, diviene arancio, giallo, verde, verde giallastro, e si fa poi violetto, allorchè le stesse serie di tinte si riproducono successivamente.

357. Biot ha dimostrato, che oltre le lamine di quarzo, altri corpi hanno anche la proprietà di far deviare il raggio di luce polarizzata, ma per alcuni la rotazione si fa a destra, per altri a sinistra, e per ciascun corpo essa è sempre proporzionale alla sua spessezza, e perciò essa dipende dal numero relativo delle molecole. Così Biot cambiando la distanza delle particelle coll' interporvi una materia inerte, come un liquido che non era dotato di alcuna rotazione, l'azione restò dipendente dalla quantità delle molecole aggiunte, ed essa era costante per lo stesso numero di particelle disseminate sul cammino del raggio luminoso. Osservò ancora Biot, che i liquidi di azion contraria, non

perdevano la loro proprietà quando si mescolavano, e l'effetto era medio.

Tra le materie che deviano a destra, si noverano la destrina, l'amido, lo zuccaro di canna, lo zuccaro di latte, quello di amido, di uva in grani, l'essenza di cedro, e quelle degli altri frutti delle *esperidee*. Biot dinotò siffatta proprietà col segno + ed una freccia volta a destra, e la intensità per numero di gradi, portando tutte quelle sostanze alla spessezza di 100 millimetri, e ad una densità = 1. La gomma, lo zuccaro di uva contenuto nel succo delle frutta, l'essenza di trementina, di ginepro, di cubebe, di copale ec. deviando a sinistra, il piano di polarizzazione fu dinotato col segno — ed una freccia volta in senso inverso della prima, cioè a sinistra.

Queste sperienze si fanno con lo stesso apparecchio analizzatore descritto a pag. 302, mettendo nella sua apertura dd' la lamina di quarzo. Il raggio di luce polarizzato su lo specchio g l'attraversa nel senso del suo asse, ovvero si fa passarlo attraverso il liquido che vuole sperimentarsi, posto in un tubo di una lunghezza conosciuta. L'apparecchio disposto in una camera oscura, come diremo pel microscopio solare, l'osservatore fa girare il prisma bi-rifrangente pp', situato nella parte opposta del tubo in t', sino che trovi il minimo d'intensità dell'immagine straordinaria. Operando con una sola luce, si avrà un fascetto egualmente rifrangibile, e l'arco di rotazione sarà sensibilmente lo stesso per tutt'i raggi che lo compongono; e se essi sono su lo stesso piano di polarizzazione prima di entrarvi, lo saranno tutti egualmente nell'uscirne.

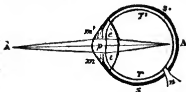
Trattasi dunque di girare il prisma in modo che quando la sezione principale è parallela a questo nuovo piano, l'immagine straordinaria sparisce totalmente. Si fa girare l'indice mobile, che accompagna il prisma, intorno questa posizione a destra o a sinistra, arrestandolo là dove l'immagine apparisce sensibilmente, e così la media tra le due posizioni estreme dà lo zero dell'immagine, o il minimo d'intensità. Per queste sperienze si fa uso di una lamina di vetro rosso, colorato coll'ossido di rame, come quello che usavasi nelle antiche chiese gotiche; ed esso può servire pe'liquori colorati, perchè il loro particolar colore non altera momentaneamente i risultamenti. Volendo in ultimo rapportar l'osservazione al raggio giallo, occorre solo moltiplicare il numero ottenuto per $\frac{30}{23}$ (1).

(1) In queste sperienze Biot potè notare, che il vetro rosso ha, per le sostanze che hanno una debole rotazione, l'inconveniente di rendere il fenomeno appena sensibile, ma esso può bastare a fissar la misura del colore che ha la più debole deviazione. In questo caso si opera con la luce bianca, profittando di questo fatto, cioè, che la rotazione debole imprime sempre all'immagine straordinaria variazioni di tinte assai rapide intorno al minimo d'intensità. Così in un raggio bianco, i piani di polarizzazione di ciascuna luce colorata, non sono

Della visione e struttura dell' occhio.

358. A fin di studiare i fenomeni luminosi, fa duopo seguire il cammino della luce nell'occhio, ed analizzar le sensazioni che quest' *organo della visione* fa nascere in noi, come quelle che avverte *l'organo dell'udito,* quanto a'diversi suoni; e perciò, come si è detto al § 83, la visibilità e l'invisibilità, come la colorazione di alcune specie di raggi, essendo effetti dipendenti dall'organismo animale, e potendo talora derivar da uno stesso raggio che opera sopra diversi individui, tanto le ondulazioni eteree che producono le sensazioni luminose, che quelle dell'aria che cagionano le sensazioni de' suoni, resterebbero semplici moti dell'etere e dell'aria, ove non vi fossero individui forniti de'due organi speciali, indispensabili alla visione degli oggetti, ed alla percezione de' suoni. Per comprender dunque gli strumenti di ottica fa duopo aver conoscenza delle parti principali dell' occhio, e delle modificazioni che può patir per l'opera de'raggi luminosi che vi sono riflessi e rifratti. Queste ragioni hanno obbligato i fisici di occuparsi della visione e della struttura dell'occhio, quantunque sembrasse dover esse esclusivamente appartenere alla notomia ed alla fisiologia.

359. L'occhio è destinato a ricever direttamente l'azione della luce per trasmetterla dipoi al nervo ottico. Esso è situato nel centro di una cavità ossea, che si chiama *orbita,* in cui l'animale può a volontà farla girare in ogni senso per mezzo della contrazione di alcuni muscoli. La sua forma è globosa, come lo dinota la figura, ed ha nel fondo l' estremità *n* del *nervo ottico.* Esso ha più membrane che l'inviluppano; una di esse occupa in S S' il fondo del-



deviati di una eguale quantità, perchè essi lo sono nel rapporto della rifrangibilità di questi raggi colorati. Girando dunque il prisma bi-rifrangente per avvicinar la sua sezione principale di quest'arco di polarizzazione, si estinguerà subito i raggi meno rifrangibili, il cui piano di polarizzazione si troverà il primo parallelo alla sezione principale del prisma; poi successivamente si raggiungerà il raggio seguente, ed in ultimo il più rifrangibile. In siffatto modo il minimo di colorazione si avrà nel mezzo, cioè nel punto in cui il prisma estingue maggior numero di raggi; allora volgendo il prisma da un lato o dall'altro, si vedrà che la tinta cambia aumentando d'intensità; questo minimo è dato dall' azzurro violaceo, assai debbole in luce, e corriponde alla rotazione media del giallo dello spettro. L'assenza poi del giallo, il più brillante degli altri colori, rende l' immagine assai scura; questa tinta è preceduta da un bell' azzurro e seguita dal violetto porpureo, il che si conosce agevolmente portando indietro la riga mobile dello strumento analizzatore per aver l'azzurro, e che essa dà il rosso se riportasi in avanti. La determinazione presa pel raggio giallo, si può, volendo, ricondurla sul raggio rosso, moltiplicando per 23 il numero dato dall' osservazione così fatta.

l'occhio, e chiamasi *sclerotica*, o *cornea opaca*, la quale nella sua più grande estensione consiste in una membrana spessa che non dà passaggio a'raggi luminosi, e perciò si è detta *cornea opaca*; l'altra che stà avanti l'occhio in *mm'*, e ne forma la parte anteriore, incastrata nella sclerotica, è molto spessa, di un diametro ed estensione minore, e si chiama *cornea trasparente*. Dentro la cornea opaca SS' trovasi soprapposta la *coroidea*, che è una membrana cellulo-vascolare che racchiude una materia di colore oscuro. Su la coroidea è adattata la *retina rr'*, membrana assai sottile, trasparente e bianchiccia, ch'è formata dallo sviluppamento e continuazione della parte che appartiene alla midolla del *nervo ottico n*. Dietro la cornea *m m'*, la coroidea si distacca, e si divide in due parti, di cui una è come un anello, e forma quell'apertura circolare *p* che si chiama *pupilla*; la membrana che forma quest'anello, cioè la più esteriore *i i'*, è colorata e si chiama *iride* a cagione della varietà de'suoi colori; essa è formata da un tessuto assai delicato di fibbre suscettive di dilatarsi e restringersi; il perchè quando la luce arriva assai viva all'occhio, la pupilla si ristringe per effetto della contrazione delle fibbre, e si dilata quando la luce è più debole, e così essa limita il numero de' raggi luminosi che possono penetrar nell' occhio. La membrana che stà dietro l' iride ha ricevuto il nome di *corona cigliare*, a cagione della sua forma. Dietro l'iride vi è un corpo *e e'* che divide l'interno dell' occhio in due spazii ineguali, cioè nella *camera anteriore*, e *camera posteriore;* questo corpo, che ha la forma di una lente biconvessa, si chiama *cristallino*. Nella camera anteriore, cioè nello spazio compreso tra la lente è la cornea, si trova l'*umore acquoso*, la cui densità e presso a poco eguale a quella dell'acqua, ovvero 0,965; Esso è assai abbondante nell'occhio degli ucelli, ed in quantità media nell'uomo e negli altri mammiferi, essendovene poi pochissimo ne'pesci. Nella camera posteriore vi è l'*umore vitreo*, sostanza trasparente e viscosa, il cui potere rifrangente è presso a poco eguale a quello dell'acqua. La linea A A' che passa attraverso la pupilla, e perpendicolarmente alle due facce del cristallino, è *l'asse dell' occhio*.

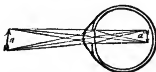
L'occhio, oltre delle parti principali esposte, possiede ancora alcuni organi accessorii, che servono ad impedir che vi entrino corpi estranei. Così l'*orbita ossea*, che è inviluppata da un tessuto grasso e flessibile, lo difende dagli urti esteriori; le *palpebre* su cui son poste le *ciglie*, per un movimento spontaneo, potendo istantaneamente abbassarsi ed alzarsi, impediscono l'entrata ai corpi leggieri che galleggiano nell' aria, o che son portati dal vento nell'occhio; alcuni muscoli fan muover l'occhio nella direzione degli oggetti esteriori; la *ghiandola lacrimale* versa su la sua superficie un liquore limpido che lo mantiene umido e pu-

lito, e quando qualche corpiccino entra nell'occhio, le lacrime che vi arrivano abbondantemente contribuiscono a discacciarnelo.

360. L'effetto generale dell'occhio è di far convergere i raggi luminosi che vi entrano. La cornea trasparente, a cagione della sua forma convessa, può ricevere non solo i raggi nella direzione del suo asse, ma anche quelli che vi cadono obliqui o lateralmente, dappoichè l'umore acquoso che li stà dietro, fa provare alla luce una prima rifrazione, e perciò entrano nell'occhio anche quel raggi che non vi penetrano direttamente. La prunella misura la quantità di raggi che debbono entrare nell'occhio, ristringendosi se la luce è troppo viva, e dilatandosi quando è assai debole. La coroide, impregnata di un liguore nero, assorbe tutt' i raggi riflessi irregolarmente, e fa dell'occhio una *camera oscura* (1) quasi perfetta, come quella che descriveremo negli strumenti di ottica. Alcuni animali, ed in particolare que'che meglio veggono nella notte, hanno di più una membrana che essi distendono come un velo per difendersi dalla luce del giorno, ed apron poi la notte per raccoglier più raggi luminosi. Perciò presso i gatti, e altri animali, la forza di dilatazione e contrazione della pupilla è assai più forte, e si è calcolato che le loro pupille posson ricever cento volte più di luce in certi momenti che in altri. Il *cristallino* è composto di strati di densità differente, il cui potere rifrangente aumenta dalla circonferenza al centro, ed è più schiacciato avanti che dietro. Essendo esso più denso dell'umore acquoso, e posto sul cristallino in forma di lente bi-concava, aumenta ancora la convergenza de'raggi, e perchè più denso dell'umore vitreo, i raggi che penetrano in questo provano nuova rifrazione che fa convergerli in fondo dell'occhio in A. Un punto luminoso dunque posto in A' invia un fascio di luce su la cornea trasparente; penetra nell'umore acquoso, vi si rifrance, traversa il cristallino ed è rifratto nuovamente; passa nell'umore vitreo ed è ancora rifratto, ed in ultimo dipinge la sua immagine in A in fondo dell'occhio. Quando l'occhio e volto verso un'oggetto qualunque, come un albero ec., o quello segnato dalla freccia in *a*, che è nella sua posizione regolare, i raggi colorati che partano da'punti della sua superficie, entrando

(1) L'occhio ha grande analogia con la camera oscura, ed è lo strumento di ottica più perfetto che possa immaginarsi. Così se tolgasi una porzione della sclerotica e della coroidea, osservasi su la retina come sopra un quadro un immagine capovolta degli oggetti positivi avanti, come succede nella camera oscura. Il mezzo trasparente dell'occhio sostituisce la lente di quest'ultimo apparecchio, e la retina il quadro. Ma nella camera oscura gli oggetti son veduti assai meno distinti nelle loro parti che quando son veduti coll'occhio.

nella pupilla, sono rifratti nell'umore cristallino, ed intersecandosi, come veggonsi nella figura, giunti nel fondo dell'occhio, ne dipingono la sua immagine in *a'* più piccola e capovolta: quest'effetto è propriamente ciò che dicesi *visione* (1).



Le leggi della rifrazione dunque bastano per dare ragione della formazione e rovesciamento delle immagine, ma vi ha alcuni altri fenomeni che non sembra così facile darne ragione. Così l'esperienza dimostra che l'immagine degli oggetti che sono troppo vicini o troppo lontani, si dipingono confuse, essendovi una certa distanza ove gli occhi posson veder gli oggetti distintamente. Questa distanza dipende dallo stato normale dell'occhio, dalla sua costituzione, ed ancora dall'età degl'individui. Di ciò dunque si dà facilmente ragione; ma noi possiamo ancora allontanare o avvicinar l'oggetto che vediamo di una certa grandezza, senza che esso ci apparisca differente; il perchè l'occhio deve patir qualche modificazione, che ignoriamo assolutamente, nell'atto che la distanza dell'oggetto varia. Alcuni credono che il cristallino abbia la facilità di muoversi un poco avanti e dietro nel senso del suo asse, ma si crede più probabile che la curva della sua superficie possa in quelle circostanze patir qualche variazione.

361. In un luogo oscuro, la pupilla è sospinta a dilatarsi il più possibile per raccogliere maggior numero di raggi luminosi, comunque deboli, ma quando dall' oscurità si passa subito in una luce assai viva, il fascio di luce che penetra nell'occhio fa provarci una sensazione dispiacevole, e non fa veder distinti gli oggetti; la pupilla allora ristringendosi a poco a poco fa cessar quella sensazione, e così noi vediamo chiaramente quegli oggetti. Il contrario succede quando da una luce viva passiamo bruscamente in un luogo alquanto oscuro, perchè non vediamo in alcun modo gli oggetti, o assai confusamente; la pupilla ristrettasi per la luce assai viva, non può subito, ma a poco a poco dilatarsi, e perciò noi possiamo solo dopo qualche istante veder quegli oggetti, ancorchè rischiarati da debol luce.

Gli oggetti in generale ci producono sempre la sensazione di una sola immagine, ancorchè li guardiamo con due occhi, ma

(1) Ecco quali sono gl'indici di rifrazione delle diverse sostanze diafane dell'occhio, come vennero determinati da Brewster: L' indice di rifrazione della luce quando passa dal vuoto nell'acqua essendo 1,336, quello dell'*umore acquoso* è 1,337; della sua parte media, 1,379; della sua parte centrale 1,399; dell' *umore vitreo*, 1,339.

ciò si spiega per un sentimento che ci dà la certezza di essere realmente uno l'oggetto che guardiamo, e questo fa diriggerci i due assi dell'occhio in modo da formare un angolo acuto, il cui punto di congiunsione de'due assi che passano pe'due occhi trovasi in contatto con l'oggetto; ma se l'uno o l'altr' occhio si sposti dalla sua posizione naturale premendolo col dito, in modo che il suo asse non più concorra allo stesso punto dell'altro, noi allora vediamo due immagini dello stesso oggetto, cioè lo vediamo doppio, come ne' cristalli bi-rifrangenti. L'occhio dunque giudica sempre un oggetto nella direzione del raggio centrale che vi arriva nel fondo; se questo raggio ha provato qualche deviazione in seguito di riflessione o di rifrazione, l'occhio non può avvertir ciò che succede fuora di esso, perchè ne rapporta l'oggetto sempre nella direzione della porzione del raggio che ha ricevuto.

362. *Miopia e presbitia*—Quantunque l'occhio sembrasse apparentemente bene organizzato, può nondimeno aver due difetti rimarchevoli; uno cioè che non distingue gli oggetti se non quando sono assai vicini, e l'altro per lo contrario allorchè sono più lontani. Le persone che veggono distintamente gli oggetti solo da vicino, e confusamente da lontano, si dicono *miopi* (da *muo*, io chiudo, e *ops*, occhio) e coloro che veggono confusamente gli oggetti da vicino, e distintamente da lontano, si dicono presbiti (da *presbus*, vecchio).

363. La distanza a cui l'occhio vede distintamente l'oggetto in tutte le parti che le inviano de'raggi, è generalmente di 30 centimetri circa, ed è la distanza della *vista distinta*. I raggi che convergono esattamente su la retina, quando anche si allontani o si avvicini l'oggetto dall'occhio, sino ad un certo limite, fuora questa distanza esso è ancora veduto distintamente. In generale ne'miopi il cristallino che è assai convesso, o che gli umori sono più rifrangenti, obbliga i raggi troppo rifratti ad intersecarsi fra loro e riunirsi prima di arrivare al fondo dell'occhio, ed in conseguenza formano un immagine confusa su la retina, perchè essa deriva da' raggi della stessa immagine formatasi nel foco più prossimo al cristallino. Si corrigge questo difetto nei miopi, o la miopia, adoperando occhiali con lenti leggiermente bi-concave, le quali aumentando la divergenza de'raggi che vengono dall'oggetto, ne impedisce la primitiva convergenza nel foco avanti la retina, e li determina ad unirsi su la stessa retina, come avviene presso coloro che non hanno tal difetto nell'occhio. Per le stesse ragioni, ma in modo inverso succede nei *presbiti*, ne'quali la curva della pupilla o del cristallino si è appiattita per l'età, il che succede quasi generalmente dopo i 40 anni, e gli umori dell'occhio divengono meno rifrangenti più in più col crescer degli anni, la loro vista distinta facendosi più

lunga, l'individuo non vede distintamente gli oggetti troppo vicini, o dove prima li vedeva, ma confusamente, perchè la loro immagine deve dipingersi più in là della retina, e perciò fa duopo operare inversamente pe' presbiti, cioè fornirgli di occhiali con lenti leggiermente bi-convesse, le quali avendo la proprietà di rendere convergenti i raggi, diminuiscono così la divergenza di que'che dall'oggetto arrivano all'occhio. Ed in ultimo, i gradi poi di *miopia* e di *presbitia*, determinano il grado di concavità o di convessità da darsi alle lenti che debbono servir per corrigger l'uno o altro difetto. Nello stato poi innormale di quest'organo, per difenderlo dall'azione della luce troppo viva, si fa uso di occhiali con vetri verdi o azzurri ec.

364. *Immagini accidentali ed illusioni ottiche*—L'occhio oltre le immagini ordinarie, può in alcune circostanze vedere *immagini accidentali* che succedono alla vista di un ogetto reale, e queste hanno un colore contrario a quello dell'immagine che deriva dalle primitive impressioni. Plateau, che ne ha fatto uno studio particolare, ha dato una teorica con la quale può aversene una spiegazione assai semplice. Così la retina che riceve una primitiva impressione, è dissestata dalla sua posizione, ma vi ritorna subito, la sorpassa, e perciò posta in oscillazione per qualche tempo; questo movimento, si comunica alle parti più prossime, e poi a poco a poco cessa. Le parti più lontane si stabiliscono in uno stato apposto per un effetto simile a quello che produce le onde condensate e dilatate. Or quando si fissano gli occhi sopra un oggetto colorato posto sopra un cartone nero, l'impressione diminuisce gradatamente, e se subito dopo guardasi un cartone bianco, si vedrà un immagine del colore complimentario della prima, e sovente il colore accidentale sparisce e poi rinasce più volte. Questo fenomeno e più sorprendente quando si fissano gli occhi sul sole che è prossimo a tramontar dietro un monte, sopratutto quando l' osservatore trovasi anch' esso in un luogo alquanto alto, dopo alcuni secondi si vedranno tante immagini circolari variamente colorate, e grandi quanto quelle del sole intorno a quest'astro, le quali gradatamente aumentano nel numero. Se allora voltansi gli occhi in aria nella direzione del cielo, si vedranno per qualche tempo moltiplicate quelle immagini in qualunque punto del cielo si diriggono gli occhi. Questi effetti, dopo la teorica di Plateau, possono rapportarsi a' mutamenti di posizione successiva che risultano dalle oscillazioni della retina che egli ha detti semplicemente *contrasto*.

Buffon aveva il primo osservato questi colori accidentali, fissando gli occhi per qualche tempo sopra un oggetto colorato posto sopra un cartone bianco. Egli vide intorno l'oggetto un aureola del suo colore complimentare. Lo stesso effetto ebbe incollando una striscia di cartone nero sopra una carta traslucida

colorata, tenendola tra l'occhio ed i raggi luminosi: essa sembrava tinta del colore della carta.

Le aureole che si mostrano intorno i corpi colorati modificano i colori di que'più prossimi, covrendoli della loro tinta complimentare; così il rosso spande una tinta verde intorno a se stesso, l'azzurro una tinta gialla, ed il giallo una tinta violetta. Da ciò risulta, che i differenti colori si fanno più vivi quando sono complimentari l'uno dell'altro; e perciò vediamo il rosso ed il verde più brillanti quando son posti l'uno accanto l'altro, e lo stesso osservasi col turchino e l'arancio. Al contrario poi i colori si fanno più deboli quando l'uno diffonde su l'altro tinte opposte. Così ogni colore posto accanto il rosso prenderà una tinta verdastra, ed accanto al violetto una tinta gialla. Chevreul ha provato, che quando vegonsi simultaneamente due oggetti colorati differentemente, posti l'uno accanto l'altro, i loro colori sembrano modificarsi mutuamente, in modo che ciascuno di essi si aggiunge al colore complimentare. In questo caso il nero ed il bianco, la chiarezza e l'oscurità fanno la parte de'colori complimentari. Nella pittura e nella distribuzione de'colori pe'paramenti da stanze, importa molto tener conto degli effetti de'colori complimentari, al che per altro la pratica spesso vi supplisce. Chevreul ha indicate le numerose applicazioni di questi effetti nella disposizione de'colori all'arte del tappezziere, alla stampa delle tele e delle carte con colori variati, e sino all'ordinamento de'fiori ne'giardini ec.

365. *Illusioni ottiche prodotte da oggetti immobili.* Da quanto precede su l'angolo visuale, che questo cioè varia con la distanza degli oggetti all'occhio, e che l'angolo si fa più in più piccolo a misura che l'oggetto si allontana, ed al contrario, noi spieghiamo il fenomeno che osservasi nelle lunghe e rette strade fiancheggiate da alberi, o ne'lunghi canali rettilinei, strade ec., in cui par che gli alberi diminuiscano nell'altezza, e stringonsi come se fossero chiusi in un estremo; quando all'opposto in que' punti gli alberi hanno presso a poco la stessa altezza, e la strada è egualmente larga ec. E difatti, nel dipingere un paesaggio, situando in siffatto modo apparente gli alberi o le case che fiancheggiano una strada, dando agli alberi ed alle case che sono avanti maggior grandezza e più vivacità di colori, e diminuendo gradatamente quella e questi, perchè la luce scema in intensità nella ragione de'quadrati delle distanze, quando guardasi quel paesaggio con lente leggiermente convessa, o per l'apertura più stretta di un cono di cartone tinto in nero nell'interno, si avrà una illusione ottica perfetta, e quegli alberi o le case sembreranno come naturalmente si veggono in sito su le strade o nelle città ec.

La *prospettiva*, che insegna questi rapporti, e che ha appunto per iscopo di rappresentare gli oggetti con le loro proporzioni

e con le loro tinte apparenti, si divide in *prospettiva lineare*, e *prospettiva aerea*. La prima si appartiene alla geometria, la quale stabilisce i metodi per trovar sopra un quadro che deve rappresentar l'oggetto, la posizione de'punti pe' quali debbon passare i raggi visuali condotti da tutt'i punti dell'oggetto all'occhio dell'osservatore. La seconda, cioè la *prospettiva aerea*, poggia sul principio or detto, cioè che i colori degli oggetti variano d'intensità e di gradazione secondo la distanza dell'oggetto all'occhio dell'osservatore, e la sua posizione relativamente al corpo luminoso che lo rischiara, essendo poi la loro grandezza in rapporto di quella dell'angolo visuale a seconda della distanza dell'oggetto all'occhio. La prospettiva aerea dunque, è l'arte di combinar le gradazioni di colori e le grandezze degli oggetti dipinti sopra un quadro, in modo che gli oggetti vengano rappresentati con i suoi colori e grandezze apparenti, cioè come noi li vediamo nella natura o nell'arte ec.

Strumenti di ottica.

366. Gli strumenti di ottica si compongono di specchi e di lenti separatamente, ovvero uniti. Quindi si avranno *strumenti catottrici*, se risultano da soli specchi, cioè se son fondati su la sola riflessione de'raggi luminosi; *strumenti diottrici*, se da sole lenti, cioè fondati su la rifrazione, e *cato-diottrici* quando si compongono di specchi e lenti, ne'quali concorre la riflessione e la rifrazione de'raggi.

Microscopio semplice — Serve questo strumento per veder gli oggetti assai piccoli, che si dicono perciò *microscopici*, perchè non si potrebbero altrimente discernere se non quando son portati ad un dato grado d'ingrandimento col soccorso del microscopio. Si crede che in origine si fosse fatto con un piccol foro praticato sopra sottil lamina metallica, e su cui mettevasi una goccia di acqua. Per la tendenza che i liquidi hanno a ridursi in globetti sferici, quando sono abbandonati a loro stessi, si aveva così una vera lente bi-convessa, la quale, come si è detto su gli effetti delle lenti convergenti, ha la proprietà di far vedere più grandi gli oggetti che non lo sono realmente. Una lente dunque bi-convessa, di un foco più o men corto, cioè di una convessità più o men grande, fissata sopra un circolo metallico o di osso nero, dà il *Microscopio semplice*, che perciò dicesi ancora *lente lenticolare*. Queste lenti si fanno anche assai piccole affinchè ingrandiscano il più possibile gli oggetti, facendo fondere l'estremità di un sottil filo di vetro per avere una gocciolina limpida di questa sostanza, che può aver sino ad un quarto di millimetro di spessezza. Si lavora dopo questa come le altre lenti, e si fissa in un diaframma metallico ec.

367. *Microscopio composto*—Può esser questo fatto ancora con due soli vetri lenticolari, e con questi ed uno specchio che può inclinarsi al punto da portare i raggi riflessi su l'oggetto a fin di rischiararlo maggiormente. Lo strumento può essere verticale ed orizzontale. Per osservare i cristalli assai piccoli ne' minerali si adopera un apparecchio simile con due lenti bi-convesse o piano–convesse, le quali possono adoperarsi sole, o congiunte ove si volesse maggiore ingrandimento, le quali sono mobili in un manico di osso nero o di metallo.

Quantunque s'ignorasse l'inventore del microscopio composto, nondimeno sappiamo che la sua conoscenza data un epoca alquanto lontana, dappoichè Drebel ne fabbricava a Londra fin dal 1661, con due lenti bi-convesse, i cui assi eran posti su la stessa linea. Quella che è posta verso l'oggetto, ha un foco assai corto, cioè una convessità più grande, e si è perciò detta *obbiettiva*, e l'altra che ha un'apertura più grande, ed una convessità minore, ed in conseguenza un foco più lungo, e dietro la quale situa l'occhio l' ossevatore, si è detta *oculare*. Le parti dunque essenziali di un microscopio composto sono: l' *obbiettiva* e l'*oculare*.

Il microscopio ha tre tubi che scorrono l'uno nell'altro; uno porta l'oculare, un altro l'obbiettiva, ed un altro un anello che dicesi *porta oggetto*, che avvanza e retrocede per mezzo di un meccanismo ordinario, a fin di condurre l'oggetto nella posizione più favorevole per la vista distinta dell'osservatore. Si rischiara poi maggiormente l'oggetto col mezzo di uno specchietto mobile leggiermente concavo, che li stà sotto, fissato sul piede dello strumento. Se l'oggetto è trasparente, si rischiara così da sotto, e se è opaco si rischiara da sopra col mezzo di una lente bi-convessa mobile, come lo specchietto. L'immagine dell'oggetto è portata prossimamente al foco dell'oculare dentro lo strumento, ed è veduta assai più grande che non era, la quale per l'angolo proporzionatamente grande che fa nel foco virtuale, che si è detto trovarsi più dietro del foco reale dell'obbiettiva, la nuova immagine virtuale sostituita alla prima vedesi anche più grande al punto della vista distinta dell'occhio dell'osservatore che ne riceve i fascetti luminosi che ne emergono. Così chiamando $a' b'$ il diametro maggiore dell'immagine virtuale, ed $a\ b$ quello dell'oggetto, si avrà che l' ingrandimento di $\frac{a'\ b'}{a\ b}$ è tanto più grande, quando i fochi dell'obbiettiva e dell'oculare sono più corti, e che la vista dell'osservatore è più lunga. Quest'ingrandimento però ha un limite che non può andare più oltre, a cagione della difficoltà di costruire obbiettive più piccole, e la necessità di conservare all'oculare dimensioni abbastanza grandi a fin di ricevere il maggior numero di fascetti luminosi che s'intersecano;

ne' differenti punti dell'immagine che cade divergente su la superficie interna dell'oculare, e perciò il campo dello strumento è il cono formato da'raggi che divergono dal centro ottico dell'obbiettiva e radono gli estremi dell'oculare. Questo campo ordinariamente si diminuisce col mezzo di un diaframma interno, affinchè si arrestino que'raggi le cui rifrazioni operandosi assai vicino gli estremi dell'oculare, renderebbero confusa l'immagine virtuale $a' b'$ (1).

368.—Nel microscopio orizzontale l'oggetto è portato nell'interno sopra uno specchietto metallico inclinato, il quale ne invia i fascetti luminosi paralleli all'obbiettiva, e pel restante, il meccanismo è lo stesso del *microscopio verticale*. Ciascuno poi ha più lenti di vario ingrandimento, le quali si adoperano secondo la grandezza dell'oggetto che vuole esaminarsi.

Campani aggiunse a questo strumento una terza lente bi-convessa, che ora chiamasi *oculare di Campani*, disponendola, come ne'cannocchiali, tra l'obbiettiva e l'oculare, la quale serve a riunire i fascetti luminosi emergenti dell'obbiettiva, e ad ingrandir così il campo dello strumento, rendendo però l'immagine su l'oculare più piccola, ma assai più distinta. Questa lente ha ancora lo scopo di corriggere il difetto dell'acromatismo, e perciò la sua posizione debb'esser determinata da questa condizione; dappoichè l'ultima immagine che deriva da un sistema di vetri convergenti non acromatici, si compone di altrettante immagini per quanti colori vi ha nella luce bianca, le quali si trovan poste a distanze e con grandezze differenti; il perchè se l'apparecchio lenticolare potesse disporsi in modo, che l'occhio dell'osservatore si trovasse sul vertice di un cono che potesse inviluppar tutte queste immagini, verrebbero così a togliersi le zone iridate che risultarebbero dall'aberrazione di rifrangibilità. Determinando così convenevolmente campani la posizione del terzo vetro lenticolare da lui aggiunto, pervenne a produrre sensibilmente questo effetto, cioè a distrugger quanto era possibile queste zone iridate che rendevan meno distinte le parti degli oggetti osservati con questi strumenti.

(1) Per misurar l'ingrandimento prodotto dall'obbiettiva si fa uso del *micrometro*, che è una lamina di vetro su cui sono segnate col diamante tante linee paralleli assai prossime, situandolo sul *porta-oggetto*. Contandone col microscopio un numero, che rappresentiamo per m, all'altezza dell'apertura del diaframma il cui diametro conosciuto sia M, e dove si trova l'immagine reale dietro il foco dell'oculare, si avrà $\frac{M}{m}$ per l'ingrandimento dell'obbiettiva. L'ingrandimento dell'oculare si misura come quello di un vetro lenticolare, dividendo la distanza conosciuta del diaframma all'oculare. Moltiplicando poi tra loro i due ingrandimenti parziali, si avrà l'ingrandimento totale dello strumento.

Dietro queste considerazioni, i microscopii composti si costruiscono ora con obbiettive ed anche oculari acromatiche, nel modo come si è detto più avanti per l'acromatismo, componendo cioè ciascuna di esse di due vetri, l'uno di flint-glass bi-convesso, e l'altro di crown-glass bi-concavo, o piano-concavo. Si è detto ancora che Amici è pervenuto a comporre lenti con sette vetri differenti, i quali distruggono la diffusione de' sette colori della luce bianca, mentre le lenti composte prima con due soli vetri rendevano ancora l' acromatismo imperfetto, perchè distruggevano i due colori più vivi solamente (v. Acromatismo).

369 — Dopo le modificazioni così apportate al microscopio composto questo strumento presentava ancora imperfezioni alquanto rilevanti, le quali vennero tutte tolte dal celebre ottico italiano Amici, e perciò lo strumento che ora va sotto il nome di *microscopio di Amici*, presenta quanto è più da desiderarsi di perfetto in simili apparecchi. In esso i fascetti luminosi che partono dall'oggetto, si alzano verticalmente per traversar l'obbiettiva situata orizzontalmente, per una riflessione totale che succede su l'ipotenusa di un prisma rettangolo che lì è di rincontro dentro il tubo dello strumento, verticalmente all'asse dell'obbiettiva, così essi son riflessi parallelamente all'asse dell'oculare, come lo erano prima imperfettamente nel microscopio orizzontale descritto, col mezzo dello specchietto metallico inclinato, al quale Amici sostituì il prisma indicato. Questa disposizione permette ora distrugger gli effetti della gravità, perchè il porta-oggetto essendo orizzontale, dà maggior comodo all'osservatore di veder l' oggetto, ed anche a poterlo disegnare. L' obbiettiva si compone d'una, di due o tre lenti acromatiche piano-convesse, le cui distanze focali principali sono di 8 a 10 millimetri; esse portano i numeri 1, 2, 3, e son poste in apposite cassette le quali si avvitano successivamente le une su le altre quando si vuole un ingrandimento maggiore, e nello stesso mentre immagini più avvicinate al sistema dell'obbiettiva. Può usarsi solo la lante n° 1, o le lenti n° 1 e 2, avvitando la prima sul tubo dello strumento, e la seconda su la prima; ovvero le lenti n.° 1 e 3, badando di conservar similmente l' ordine naturale di loro, avvitando il n° 3 sul n° 2. Nel primo caso si ha minore ingrandimento, e l'oggetto trovasi il più lontano possibile dall'obbiettiva; nel secondo l'ingrandimento è più forte e l'oggetto più avvicinato, e nel terzo esso è maggiore e l'oggetto trovasi condotto ad una piccolissima distanza dall'obbiettiva. Un diaframma piano con apertura circolare è avvitato sopra queste lenti, e sopra il diaframma ve ne ha un altro concavo, con simile apertura, la cui curva è volta in basso per inviare all'oggetto la luce che esso riceve.

370 — Nel microscopio di Amici, per ciascuna combinazione

dell'obbiettiva, può avvitarsi su lo strumento l'una o l'altra delle sei oculari acromatiche differenti, le quali portano i numeri 1, 2, 3, 4, 5, 6. Le prime quattro son costrutte su lo stesso principio, cioè son composte ciascuna di due vetri piano-convessi, fra i quali è fissato un diaframma al punto dove formasi l'immagine reale dell'oggetto, e nell'apertura circolare del diaframma vi si metton due fili assai sottili ad angolo retto, i quali servono da micrometro per misurar l'ingrandimento dell'oggetto. Le due altre oculari sono lenti convesse semplici a foco corto, ed un cartone nero postoli d'intorno ne arresta ogni luce straniera. Gli aggiunti che sono nello strumento, hanno presso a poco lo stesso scopo di quelli degli altri microscopii composti, e questi sono stati anche variati da Chevalier, il quale ha apportato varii altri cambiamenti al microscopio di Amici, che sarebbe difficile qui esporli con una semplice descrizione su la figura.

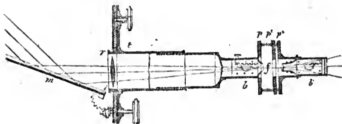
In questo strumento le combinazioni delle oggettive ed oculari danno immagini di una nettezza rimarcabili, quando l'ingrandimento non sorpassa 500, al più 600 volte in diametro; che se le combinazioni lo portano, com'e facile ottenere, a 1000, 2000, 3000, e sino a 4000, allora si avranno immagini un poco confuse. Questo strumento può adoperarsi anche verticalmente, quando vi si apportino que' cambiamenti necessarii a cambiar l'effetto primitivo del prisma, e di alcuni altri accessorii, che d'ordinario si trovano annessi alle parti separate dello strumento.

Dalla descrizione data de'diversi microscopii risulta, che questi possono farsi con sole lenti, e con specchi e lenti, e perciò saranno nel primo caso a rifrazione o *microscopii diottrici*, e nel secondo a riflessione ed a rifrazione, o *cato-diottrici*.

371 — *Microscopio solare* — Il microscopio solare differisce dalla *lanterna magica* o *fantasmagoria*, perchè le ultime sono rischiarate da una lampada ed il primo da'raggi solari, i quali come producono una chiarezza assai maggiore, permetton veder gli oggetti sotto un angolo assai più grande. Esso è anche come questi strumenti o apparecchi, cato-diottrico, perchè formato da lenti convesse, e specchi ec. (1).

(1) Il microscopio è stato cosi chiamato perchè gli oggetti sono rischiarati co'raggi del sole riflessi su lo specchio piano, per aversi una luce assai viva a fin di portar gli oggetti al massimo ingrandimento possibile, il che non si avrebbe con la luce delle fiamme ordinarie. Ma dopo la scoperta della luce intensissima che si ha col dirigger su la calce un getto infiammato del mescuglio detonante di ossigeno ed idrogeno, ha potuto, come praticasi ora a Parigi ed in altri luoghi, aversi presso a poco gli stessi effetti, sostituendo questa luce a'raggi solari, ed inconseguenza lo sperimento può ora farsi la sera disponendo avanti la lente bi-convessa invece dello specchio piano, uno specchio concavo come nella lanterna magica. V. il § 143 e 144.

La figura qui sotto mostra lo strumento fissato nell'apertura dell'imposta di una camera oscura, per mezzo delle due viti che son dietro la retta *ri*. Lo specchio *m* che sta fuora, ha un moto



di rotazione e può inclinarsi anche a volontà, per riflettere i raggi solari che vi cadono parallelamente all'asse del tubo *t* dello strumento; ma cadendo essi dapprima su la lente bi-convessa *r i* che stà nell'estremità del tubo *t*, convergono tutti per riunirsi al suo foco in *f*. L'oggetto che vuol sottoporsi allo sperimento, è posto sopra una laminetta di vetro, che si fa entrare per la fenditura segnata tra p' p'', e deve portarsi prossimamente alla seconda lente a foco assai corto, che vedesi più avanti *f*, nella direzione dell'asse *m f*. Un meccanismo annesso allo strumento fa avanzare e retroceder la piccola lente situata nell'apertura di p'', verso l'estremità *p* p' del tubo. L'immagine rischiarata da'raggi luminosi che divergono poco in là del foco *f*, è ricevuta su la piccola lente, in cui i raggi luminosi intersecandosi per condurla al suo foco, la faranno da ivi uscir sempre più divergente a misura che più se ne allontana, come vedesi nella figura, e questo ingrandimento può giungere a più di 2 milioni di volte.

La parte mobile p'' dello strumento, su cui sta la seconda lente a foco assai corto, è aggiustata con viti su la estremità p', e può allargarsi per mezzo di una spirale di filo metallico per farvi passar la laminetta su cui stà l'oggetto. Le lenti possono esser come quelle del microscopio composto, cioè semplici, acromatiche, o a più lenti composte come nel microscopio di Amici descritto.

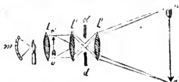
372. Il microscopio solare serve a molte ricerche fisicochimiche, fisiologiche, e quelle che riguardano la storia naturale in generale, a cagione dell'ingrandimento e della chiarezza grande a cui possono portarsi i più piccoli oggetti. Così quando mettesi un vegetale qualunque nell'acqua, e vi si lasci per qualche gior-

no, durante la sua fermentazione si producono degl' *infusorii.* Se una goccia di quell'acqua si metta sopra la laminetta di vetro, introducendo questa nel microscopio, si vedranno su l'ostacolo le grandi immagini di quegl' infusorii vivi, che si muovono in ogni direzione, e quando sono abbastanza rischiarati può osservarsene la loro struttura interna, perchè essi stessi trasparenti. Ma il fenomeno più importante che presenta questo strumento, è il cammino progressivo della cristallizzazione de'sali. Una goccia di soluzione di sal comune posta su la laminetta di vetro, fa dapprima veder su l'ostacolo una specie di denso vapore acquoso; ma poco dopo questo dileguasi, il movimento delle molecole saline comincia, ed in qualche istante la superficie tutta rischiarata su l'ostacolo presenta milioni di piccoli cubi di cloruro sodico, o sal comune, i quali veggonsi camminare in ogni direzione, offrendo il vero fenomeno della polarizzazione degli atomi chimici, dappoichè quelli che s'incontrano per le facce che hanno i poli simili, si ripellono, ed al contrario si attraggono se i poli sono differenti. Così proseguendo il movimento, la cristallizzazione avanza, i cubi a poco a poco si soprappongono, e si fanno successivamente assai più grandi, sino che finita l'evaporazione del liquido che teneva sciolto il sale, cessa ogni movimento, e la superficie rischiarata trovasi tutta tapezzata d'infiniti grossi cubi neri. Quanto agl' infusorii, possono questi vedersi anche con un buono microscopio composto, ma per seguire il cammino progressivo della cristallizzazione de'sali, il microscopio solare ne determina meglio i movimenti attrattivi e ripulsivi delle molecole saline.

373. *Lanterna magica.* Quest'altro apparecchio cato-diottrico, è costrutto su lo stesso principio del microscopio solare, ma siccome in esso gli oggetti sono rischiarati con la luce delle fiamme invece di quella del sole, quantunque fossero anche portati a sufficiente ingrandimento, non si veggono così distintamente nelle loro parti, come col microscopio solare. Consiste essa in una scatola rettangolare, che suol farsi di lamine di latta, nel cui fondo verticale vi è uno specchio concavo di metallo, ed al suo foco avanti vi è una lucerna ad olio. Su l' asse dello specchio, nell'altra parete dirimpetto della scatola vi è un tubo mobile su cui son poste due lenti bi-convesse a foco corto, situate nella distanza de'rispettivi fochi, ed avanti di esse, cioè tra la fiamma e la superficie della prima lente vi è una fenditura per la quale si fanno passar le lamine di vetro su cui sono dipinte le diverse figure colorate. Le immagini più o meno ingrandite si vedono con i colori propri nel gran campo circolare luminoso, che il cono de'raggi che escono dal foco della seconda lente fa contro il muro. L'effetto è come nel microscopio solare.

La lanterna magica descritta ha l'inconveniente di far vedere

le immagini capovolte ove si ponessero dritte, ma se invece si pongono esse stesse capovolte si avranno dritte. Per avere migliore effetto si dispone avanti lo specchio concavo *m* la lampada, e poi la lente convergente *l*, la quale serve per rischiarar maggiormente l'oggetto o le figure dipinte su la lamina di vetro, che vi si mette prossimamente dietro in *o o'*. Avanti vi sono le due altre lenti biconvesse *l' l'*, che possono avvicinarsi ed allontanarsi per condurle nella distanza de' loro fochi rispettivi. Un diaframma *d d'* posto tra esse, serve per dar passaggio a'soli raggi luminosi regolarmente rifratti, ed impedir l'aberrazione di rifrangibilità, non essendo le lenti acromatiche. Le figure dipinte nella lamina di vetro posta in *o o'*, sono rischiarate fortemente indietro, da'raggi che escono quasi paralleli dalla lente *l* e convergono su dalla lente *l'*, formando de'fasci convergenti nell'uscir dalla lente *l'*, ed allargandosi sempre più dipingono sul muro le immagini o l'oggetto posto in *o o'* ampliate, ma capovolte, perchè come la prima freccia in *o o'* è dritta, considerandone i soli raggi estremi, essa vedesi in *aa'* più grande e capovolta. Che se la prima si situa capovolta, la seconda si avrà dritta. Le due lenti *l' l'* essendo mobili, si porta una di esse avanti o indietro sino che le figure su l'ostacolo si veggono il più possibile distinte.

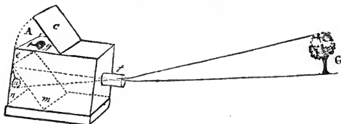


La stessa lanterna magica suol farsi anche con due sole lenti bi-convesse poste nell'estremità di due tubi, in modo che possano avvicinarsi ed allontanarsi per portarle al loro foco, restando lo stesso l'apparecchio, sopprimendo solo la prima lente *l*. La lamina con le figure si mette immediatamente avanti la lente *l* ove stà il diaframma *d d'*, e così le immagini riunite nel foco della lente *l''*, da ivi dilatandosi il fascio luminoso le porta sempre più ampliate avanti ec. Nella figura si sono segnati i soli raggi estremi che partono dall'oggetto *o o'*, e che lo disegnano in *a a'*.

374. *Fantasmagoria.* È la stessa precisamente che la lanterna magica, a differenza solo che le figure trasparenti son designate su la lamina di vetro in un fondo nero, invece di esser questo stesso trasparente, com'è nella lanterna magica. Ancora, le figure, che veggonsi isolate, invece di farle cader sul muro, come praticasi per l'ultima, si fan cader sopra un trasparente di tela fina ben tesa che chiude la porta di una stanza, stando dietro gli spettatori all'oscuro ad osservare il fenomeno, cioè dal lato opposto da dove si produce. Così disposte le cose, si porta l'apparecchio prossimamente alla tela, ed allora dietro di essa vedesi solo un

punto luminoso, ma non appena quello tirasi indietro, comincia subito a vedersi su la tela la figura, ed andando più indietro questa si fa sempre più grande, in modo da produrre una illusione ottica perfetta a coloro che l'osservano, ed è che la figura, che perciò si dice *fantasma*, e l'apparecchio *fantasmagoria*, sembra avanzarsi in mezzo gli spettatori. Quando poi l'apparecchio si avanza verso la tela, tenendolo prima e dopo quando è possibile fermo su la stessa retta, si ha un effetto inverso, cioè che il fantasma facendosi successivamente più piccolo a misura che più si approssima alla tela l'apparecchio, dà l'altra illusione, vale a dire che esso si allontana, facendosi sempre più in più piccolo, come per lo contrario prima avvicinandosi facevasi sempre più in più grande. Or poichè queste figure possono portarsi ad un'altezza di 30 a 40 piedi, e vedersi abbastanza distinte, lo sperimento suol farsi ne'teatri, in cui l'apertura del palcoscenico è assai più adatta che quella di una porta di una stanza ec. Le figure nelle lamine di vetro son dipinte con colori bianchi e scuri solamente o con forme poco regolari, per imitar meglio quelle di un immaginario fantasma, ed a cagione del campo nero in cui son dipinte, si veggono perciò perfettamente isolate su la tela traslucida, laddove quelle della lanterna magica che son colorate e dipinte in un campo trasparente, su la stessa lamina di vetro, si veggono invece rischiarate in mezzo questo stesso campo (1).

Camera oscura, o *Camera ottica*.

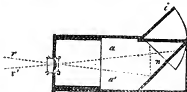


375. *Camera oscura orizzontale*. La camera oscura prima conosciuta, era una scatola in cui vedevasi l'oggetto capovolto, ma che poteva vedersi anche dritto quando situavasi capovolto, facendo entrare i raggi che da esso erano riflessi per un piccol fo-

(1) Questi due ultimi apparecchi si trovano ordinariamente fatti con due sole lenti bi-convesse ed uno specchietto concavo di latta, ma ove le lenti, lo specchio e le figure si facessero con più accuratezza, l'effetto sarebbe assai migliore.

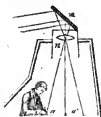
ro praticato in una parete della scatola. L'apparecchio era presso a poco come quello descritto al § 253. Ma Giovan Battista della Porta lo modificò aggiugnendovi una lente bi-convessa nell'apertura da cui doveva entrar l'oggetto, e dopo venne altrimenti perfezionata. La figura pecedente dinota la camera *oscura orizzontale* modificata, che si compone di una scatola rettangolare e del tubo mobile *t*, che ha una lente leggiermente bi-convessa, e può esser piano-convessa; uno specchio *m* inclinato a 45° gradi, ed un vetro traslucido orizzontale *g*, su cui vedesi l'immagine la quale arriva capovolta su lo specchio in *a*, si alza dritta, e si arresta sul vetro traslucido in *g*, come lo dinota la figura, in cui si sono disegnati i soli raggi estremi dell'oggetto, per mostrar come questo deve arrivar capovolto su lo specchio. I raggi riflessi dall'oggetto G, escono divergenti dal foco della detta lente posta nel tubo *t*, è pervenuti su lo specchio, sono riflessi secondo la nota legge di catottrica, e si alzano paralleli alla retta *e n* per formar l'immagine sul vetro traslucido in *g* su cui può facilmente disegnarsi da A. La stessa camera oscura può farsi senza specchio, mettendo il vetro traslucido nel fondo della scatola dirimpetto la lente, ma per disegnar l' oggetto più facilmente ed averlo dritto, si preferisce quella descritta con lo specchio, e solo l'altra è ora destinata ad ottener le *immagini Daguerriane*, situando nella fenditura che stà nella direzione di *e e'* il vetro traslucido per trovare il punto ove l'oggetto è veduto distintamente, sostituendovi poi la lamina di argento su cui si fissa, come diremo appresso (1).

376. La stessa camera oscura è veduta con una lente piano-convessa fissata nell'apertura di una parte della scatola che può farsi avanzare e retrocedere, come è nel *daguerrotipo*, e i raggi estremi *r r'* che vengono dall' oggetto, divergendo, come veggonsi da *a a'*, sempre più avanti, riflessi su lo specchio *n*, son portati sul vetro traslucido, e l'immagine è veduta da sotto il diaframma *i*, da cui può agevolmente disegnarsi. Caston ha osservato, che le lenti le più vantaggiose erano le concavo-convesse, poste con la concavità in fuora, ove arrivano i raggi dell'oggetto, e Cauchoix ha trovato con l'esperienza, che il rapporto delle curve il più convenevole per le due superficie, era quello di 5 ad 8.



(1) Quanto riguarda le immagini daguerriane, o il daguerrotipo in generale, V. dal § 379 al § 389.

377. *Camera oscura verticale.* Essa poco differisce dalle precedenti, e si compone similmente di uno specchio e di una lente biconvessa, come vedesi nella figura. I raggi che riflessi dall'oggetto cadono paralleli su lo specchio mobile *m*, sono rifratti dalla lente bi-convessa *n*, e concentrati al suo foco escono divergenti portando l'immagine in *a a'*, ove può disegnarsi facilmente.



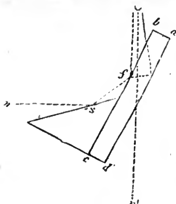
Lo stesso apparecchio è fatto con un prisma menisco che ha la più larga faccia coverta con un cartone nero, posto in un tubo di ottone che si situa nella direzione della sua apertura rettangolare da cui entrano i raggi riflessi dall'oggetto. Il prisma sostituisce lo specchio e la lente, ed esso può inclinarsi secondo il bisogno, essendo fissato ne' due estremi ad un asse che passa pel tubo in cui è chiuso, le cui pareti interne sono tinte in nero. L'immagine è portata similmente sul cartone come nell'altra descritta, cioe in *a a'*, ed ivi può disegnarsi agevolmente. La faccia del prisma che è volta verso l'oggetto è convessa.

Siccome le due camere oscure verticali servono per disegnare un paesaggio, così son fatte ordinariamente con tre bastoni di legno a cui è fissata per lo lungo una tela nera, e nella parte superiore vi è un cerchio di ottone per situarvi dentro il tubo che porta il prisma, o l'altro apparecchio con la lente e lo specchio ec. Allargando, quando vuole usarsi l'apparecchio, i tre bastoni, si compone una piramide tetraedra, nella cui base, ad una certa distanza dal suolo si situa il cartone su cui vuol disegnarsi il paesaggio. Da un lato vi è un'apertura, affinchè il paesista possa entrarvi la testa e la mano per eseguire il disegno del paesaggio ec. come lo mostra la figura.

378. *Camera lucida.* Quest'ingegnoso strumento, che è un applicazione de'specchi piani e de'prismi, è dovuto a Wollaston. Esso sostituisce la camera ottica, e può servir come questa a disegnar le immagini degli oggetti. Si compone esso di un prisma a quattro facce, di cui due sono perpendicolari, e due altre inclinate in modo che riflettono tutt'i raggi che entrano perpendicolarmente ad una delle facce. L'occhio situato in modo che la metà della pupilla riceva i raggi riflessi nel prisma, e l'altra metà que'emanati dalla carta bianca postavi perpendicolarmente sotto nella direzione dell'occhio, l'immagine degli oggetti esteriori sarà riflessa dritta su la carta, e portandovi la punta di un lapis, l'occhio la vedrà distintamente e potrà disegnarla. Per veder con più nettezza le immagini, suol situarsi avanti la faccia superiore orizzontale del prisma una lente bi-convessa, la quale dà a'fascetti luminosi riflessi la stessa divergenza de' fascetti che

sono ricevuti direttamente. Ed in ultimo, la differenza di chiarezza dell'immagine riflessa potendo impedire una visione distinta degli oggetti, si adattano sul prisma due vetri azzurri che si voltano dal lato dell'oggetto e della carta, e così può diminuirsene la troppa chiarezza, che renderebbe meno distinta l'immagine.

Ma la camera lucida di Wollaston aveva l'inconveniente che ogni piccolo movimento dell'occhio faceva variare rapidissimamente l'intensità dell'immagine e la veduta del lapis col quale si deve disegnare. Così se l'occhio avanza un poco verso il prisma, l'immagine diviene assai precisa, ma non si vede il lapis, ed un movimento contrario produce un effetto inverso. Essa venne perciò perfezionata da Amici, il quale ne rese ancora la sua costruzione assai più semplice. La figura di lato mostra questo nuovo apparecchio, in cui $b\,a$, $c\,d$ è una lamina di cristallo a facce paralleli, ed S lo specchio metallico inclinato. Un raggio n che viene dall'oggetto è prima riflesso in S dallo specchio, si alza obliquo e cade in f su la faccia della lamina di cristallo ba, cd; da ivi è riflesso una seconda volta e giunge all'occhio del disegnatore posto in O, il quale guardando al di sopra vede l'immagine su la carta in n', e nello stesso mentre il lapis per disegnarla agevolmente.



In luogo dello specchio metallico, Amici ha adoperato un prisma isoscele di cristallo il quale facendo le veci di uno specchio piano può anche meglio rifletter più raggi luminosi. L'apparecchio è posto in una scatola con le pareti interne annerite per impedir che le varie luci riflesse giungano all'occhio del disegnatore, il quale guarda l'immagine dell'oggetto attraverso una fenditura praticata sul tetto della scatola.

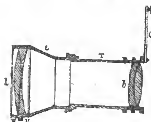
Daguerrotipo.

379. Appena venne annunziata la scoperta di Daguerre (1) sul cader del 1839, da cui trasse dopo origine la *daguerrotipia*, la

(1) La scoperta fatta da Daguerre è indubitatamente una delle più maravigliose di quante ne siano state sinora registrate negli annali delle scienze. Come egli sia pervenuto a tali inestricabili risultamenti, non bastano i principii del-

fotografia ec., il Governo francese, compresane tutta l'importanza, si recò a premura, dietro larghe ricompense, ottener dall'autore la pubblicazione del suo trovato. Senza questa generosa previgenza, il nome di Daguerre non sarebbe asceso tanto in alto, e quella importantissima scoperta sarebbe divenuta forse privilegio esclusivo di qualche ciurmadore. Ma reso di pubblica ragione quel nuovo trovato, dopo cessata la prima sorpresa che ogni grande scoperta suole arrecare all'universale, si vide esso entrar nel dominio delle scienze esatte, e poco dopo valenti fisici, chimici, meccanici ed ottici si occuparono a perfezionar que'metodi ed apparecchi, a fin di renderli non solo di uso generale, ma estenderne quando era possibile le applicazioni.

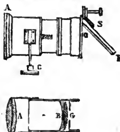
380. Il *dagherrotipo* consiste in una camera oscura senza specchio, come quella descritta al § 376, ma l'uso e le sue applicazioni ne sono differenti. L'obbiettiva, che è la parte più importante, si è fatta con una sola lente acromatica bi-convessa, ma si preferiscono ora quelle a due obbiettive. La figura di lato dinota questa parte più essenziale dell'apparecchio. La prima obbiettiva L è fatta con tre vetri, cioè il primo in fuora bi-convesso, il secondo bi-concavo, ed il terzo piano-convesso, esattamente uniti per le concavità e convessità rispettive, e fatti con vetri differenti, come si è detto al § 370. La seconda obbiettiva *b* si compone di una lente bi-convessa, unita ad un altra concavo-convessa C è il diaframma opaco che serve per chiudere l'apertura del tubo, quando si fa l'operazione. Le due obbiettive sono aggiustate in un tubo di ottone, cioè quella che vedesi in L in un tubo conico *e*, e l'altra *b*



le scienze fisico-chimiche per darne ragione. È vero che la camera oscura era conosciuta, che Schéele, Wollaston ed altri avevano esaminata l'azione de'raggi chimici sopra alcune sostanze, che ora si dicono *sensibili* o *impressionabili*, e che spalmandone con queste la carta si erano ottenute immagini nella camera oscura. Ma niuno certamente potrà dare ragione del come Daguerre avendo adoperato il ioduro invece del cloruro di argento, e non ottenuto alcuno effetto abbia poi avuta l'idea di espor la lamina all'azione de' vapori mercuriali per farne uscir le immagini come per incantesimo. Se egli avesse ottenute le immagini dopo l'azion de'raggi luminosi, il fenomeno era assai semplice, ma non avendole vedute, era naturale dedurne che quel mezzo non conduceva ad alcun effetto. Coloro che han letta la prima opera di Daguerre, avran notato quali difficoltà presentava la sola esecuzione delle operazioni per riuscirvi, e perciò conchiuderemo, che per quanto l'uomo si affatichi a sorprender la natura nei suoi misteri, deve egli convincersi che vi ha una *mano invisibile* che lo guida a riuscirvi, e questa non può esser se non la mano del Sommo Creatore, il quale allora ricorda all'uomo la sua Onnipotenza infinita, e che da questa sola può egli tutto attendersi.

nel tubo cilindrieo T. La lente posteriore L hà la superficie convessa dentro la camera oscura, e la piana *v* dentro del tubo. Le due lenti composte L *b* sono in due tubi separati, i quali scorrono l'uno nell'altro, e sono aggiustati nella camera oscura ordinaria descritta.

381. L'altra fig. qui annessa presenta un altro simile apparecchio, ma fatto con due sole lenti acromatiche ordinarie A B, le quali sono fissate in due tubi separati uno che entra nell' altro,



e questi s'introducono nell'altro tubo di sopra dalla parte più larga di A, da cui si fissa su la camera oscura. Il tubo che porta le due lenti avanza e retrocede per mezzo del meccanismo mosso dal bottone *c*, per condurlo al punto ove l'immagine è veduta più distinta. S E è il diaframma che apre e chiude l'apertura G più stretta, che è in fuora, ove stà la prima obbiettiva B, quando deve farsi l'operazione. Nella parete dirimpetto il tubo descritto, vi si mette una lamina di vetro traslucido fissata in un piccolo telajo rettangolare di legno, per trovar la distanza della vista distinta dell'immagine. L'apparecchio di Daguerre ha molti altri aggiunti, i quali perchè ora di conoscenza volgare, si tralascia descriverli, essendosi notato solo la parte più indispensabile per aver le immagini più precise.

Le operazioni successive che fa duopo eseguir per ottener le impressioni nel daguerrotipo, domandano molte precauzioni che più si apprendono dopo lunga pratica, che con la più minuta descrizione di tutt'i metodi sinora aggiunti; dappoichè l'opera della luce diretta o riflessa, il tempo della iodurazione ed applicazione delle sostanze acceleratrici, come quello che occorre nella camera oscura ec. non possono esporsi in modo assoluto, essendo dipendenti da infinite circostanze che posson farne variar gli effetti; al che può riuscirvisi facendo prima più pruove con le diverse sostanze, e sul tempo che occorre per la luce ove si opera, e poi eseguir l'operazione definitiva. Nondimeno possiamo darne i principii generali, e stringer tutte queste operazioni a sei solamente, esponendole ordinatamente dalla prima all'ultima. Esse sono : 1° pulimento delle lamine ; 2° iodurazione ed applicazione delle sostanze acceleratrici ; 3° esposizione al daguerrotipo; 4° esposizione a'vapori mercuriali ; 5° distruzione dello strato sensibile che continuerebbe ad alterarsi coll' azione della luce diffusa, o lavamento delle lamine, 6° fissazione dell'immagine col cloruro di oro.

1.° Le lamine si puliscono con pomice finissima stropicciandovela col cotone cardato. Si adopera ancora il tripoli, ed il ros-

so d'Inghilterra chiusi sempre in una pezzolina per farne uscir solo la parte più fina. Quando le lamine sono state già usate, vi si mette qualche goccia di olio, e si prosciugano col rosso d'Inghilterra a secco. Io ho operato in più breve tempo con la calce effiorita e l'alcool, ed ho solo adoperato il tripoli o il rosso d'inghilterra per pulir le lamine che eran servite a più pruove. Alcuni adoperano il tripoli bagnato con acqua acidolata leggiermente con acido nitrico, e poi finiscono col pulirla col rosso d'inghilterra a secco.

2.° Si porta la lamina nel suo quadro sopra la *scatola a iodo*, in luogo quasi oscuro, e vi si tiene sino che abbia acquistato un color giallo o giallo di oro, operando alla temperatura ordinaria, e badando di non tenervela tanto che il color giallo passi al violetto, perchè allora non sarebbe più suscettiva di ricever l'impronta nella camera oscura, ma può dopo pulirsi come prima e ripeter la iodurazione più attentamente. Avendo accanto la scatola che contiene il *liquore acceleratrice*, che descriveremo più avanti, vi si tiene per alquanti secondi, e dopo si passa sul iodo per qualche istante. Si covre subito con cartone nero per esporla alla *camera oscura a daguerrotipo.*

3.° Si porta sul cartone la lamina così preparata nella camera oscura, tenendo chiuso il diaframma avanti l'obbiettiva, il quale si apre quando deve farsi il ritratto o altro, e subito si chiude un altra volta, avendo precedentemente disposta la distanza focale delle lenti in modo da veder distinti gli oggetti attraverso il vetro traslucido.

4.° Si porti dopo la lamina impressionata, sempre sul cartone nero, nella scatola a mercurio, riscaldando questo sino che segni 60 a 75 gr. centigradi.

5.° Tolta la lamina, quando vedesi già distinta il più possibile l'immagine, si lavi nella soluzione di sal marino, o meglio d'iposolfito di soda, e poi con acqua pura, ed io mi son servito con miglior successo dell'alcool. Così le macchie che erano nel fondo bianco saranno tolte, ed il disegno apparisce più distinto.

6.° Fizeau è pervenuto a fissar non solo meglio le immagini così improntate, ma renderle ancora più vivaci, adoperando la soluzione di cloruro di oro e d'iposolfito di soda nel modo seguente: Si sciolgano separatamente 1 gramma di cloruro secco di oro in 1 libbra di acqua pura, e 3 a 4 gramme d'iposolfito di soda anche in una libbra di acqua pura. Si versi dopo a poco a poco la soluzione di oro in quella dell'iposolfito, agitando il liquore, il quale fattosi dapprima leggiermente giallognolo non tarda a divenir limpido. Questo liquore sembra contenere il doppio iposolfito di oro e di soda, con poco salmarino il quale pare che non abbia alcuna parte nell'operazione. La sua appli-

cazione si fa subito dopo aver pulita la lamina, come si è detto nell' operazione 5ª, mettendovi sopra la soluzione del sale doppio di oro, in modo che la ricopra tutta, e poco dopo riscaldata da sotto la lamina in ogni punto con una lampada ad alcool, si vedrà il disegno farsi più distinto tra 1 a 2 minuti, ed acquistar negli scuri una intensità assai maggiore di prima. In siffatto modo le impronte non più si alterano alla luce, nè quando si puliscono dalla polvere, il che non può farsi quando non vi è fissato lo strato sottilissimo di oro, perchè il più leggiero strofinio basta per cancellarne le impronte (1)

382. *Sostanze acceleratrici*—Si sono così chiamate le sostanze che possono contribuire ad accelerar l'azione alterante de'raggi luminosi per farle servire a produrre il più prontamente possibile la *daguerrotipia*. Fra queste sostanze, oltre quelle descritte al § 323 col nome d'*impressionabili*, si son trovate più sensibili il *bromo*, il *cloro*, il *cloruro solido* di *iodio*, adoperato da Claudet, il *ioduro di cloro* liquido. Il cloro ed il bromo si adoperano separatamente, sciogliendoli a saturazione nell' acqua, e mettendoli in una scatola rettangolare di porcellana o in un piatto, quando debbono usarsi. Il cloruro di iodio solido si mette in un bicchiere in mezzo a due strati di cotone cardato, per far che il suo vapore si diffonda eguabilmente e lentamente, ma può adoperarsi anche sciolto in 5 a 6 parti d'acqua; ed il ioduro liquido si scioglie in 6 parti di acqua.

Reiser ottenne un liquore sensibile con lo stesso ioduro, che ora dicesi *liquore di Reiser* o Allemanno, il quale è identico al precedente, saturando col gas cloro 90 grammi di iodio in polvere, posto in un matraccio, sino che erasi tutto liquefatto ed aveva preso un colore rosso vivo, sciogliendolo dopo in 500 grammi di acqua. Il liquore può servir per molti mesi, quando si ha cura tenerlo ben chiuso ed in luogo oscuro.

Ho adoperato con egual successo, come sostanze acceleratrici, l'acqua satura di cloro, il gas cloro mescolato all'aria, il protossido di cloro, l'acqua satura di bromo, ed unita ad egual volume con quella di cloro, assai prima che se ne facesse uso in Francia ed in altri luoghi (2).

(1) Gelis e Fordos son pervenuti ad aver solido il doppio sale di oro di Fizeau, preparando le due soluzioni con la minor quantità di acqua possibile, precipitandone dopo il sale doppio col mezzo dell' alcool, e lavandolo anche con alcool sul filtro. Mezzo gramma di questo sale basta per avere un litro della soluzione di Fizeau; il che rende ora il suo uso più facile.

(2) Appena fu annunziato presso noi l'applicazione del daguerrotipo a ritratti, B. Bandiera se ne occupò tra noi il primo, e con successo, adoperando il cloruro di iodio solido in vapori, il quale con difficoltà riuscivali aver costante ne'suoi effetti. Occupandomi contemporaneamente della ricerca di altre sostanze più acceleratrici, trovai che più efficacemente operavano il cloro, ed il bromo sciolti a saturazione nell'acqua. Il cloro gassoso mescolato all'aria, ed il

383. Le sostanze acceleratrici, quando son ben preparate, operano secondo le circostanze atmosferiche, il grado d'intensità della luce riflessa, la qualità delle lenti, e del pulimento perfetto delle lamine, a dati eguali, come appresso:

Tempo necessario per iodurar le lamine	da 3 a 10	minuti
Sua esposizione al cloruro di iodio	da 10 a 50	secondi
al bromuro di iodio	da 5 a 20	*id.*
al ioduro di bromo	da 5 a 20	*id.*
all'acqua col bromo	da 2 a 20	*id.*
all'acqua col cloro	da 10 a 20	*id.*
al gas protossido di cloro	da 5 a 10	*id.*

Son questi i risultamenti approssimativi ottenuti dopo ripetuti saggi fatti con le predette sostanze acceleratrici, ma il loro uso dipende più da lunga pratica che da una mera esposizione succinta; nondimeno quanto si è esposto può servir di guida per esercitarsi in simili operazioni (1).

Quando alla grandezza delle immagini che vogliono aversi, queste saranno in generale più grandi quando l'oggetto o la persona si situi più prossimo alla camera oscura, perchè a misura

protossido di cloro li adoperai soli, mettendo in un bicchiere stretto ed alto il clorato di potassa con l'acido cloridrico di commercio, covrendoli con uno strato spesso di cotone cardato, e poi unito al iodio che spargeva sul cotone, su cui metteva altro strato di cotone. In seguito F. Cirelli e B. Bandiera si valsero con egual successo delle stesse sostanze, ed ebbero risultamenti identici, i quali erano sempre dipendenti dalle circostanze precedentemente notate, ed all'avere operato con la camera oscura ad una sola obbiettiva semplice. Intanto la scoperta del bromo e del cloro venne dopo qualche anno attribuita, la prima, a Fizeau, e la seconda a Bernard, quantunque presso noi sen facesse uso siu da' primi tempi dell'applicazione del daguerrotipo a'ritratti ec.

(1) Quando trattasi di avere un paesaggio, un edifizio, un monumento ec. rischiarati dal sole, si adoperano le grandi lamine, ed allora può usarsi la lamina dopo la semplice iodurazione, lasciandola nella camera oscura per 10 a 20 minuti. Ma pe'ritratti è duopo operar nel più breve tempo possibile con le sostanze meglio acceleratrici e con una luce diffusa libera, come sopra una terrazza ec. e mai alla luce solare diretta. Le ore che meglio convengono sono dalle 9 alle 11 antimeridiane, ed alle ore vespertine, cioè 2 a tre ore prima del tramonto del sole. Una minuta descrizione de' tanti particolari che farebbe duopo notare per la riuscita dell'operazione, sarebbe inutile, perchè essa dipende assolutamente da lunga pratica, e perciò le cose generali esposte bastano per darvi cominciamento. Ed in compruova faremo notare, che anche coloro che ne traggono certo lucro col farne ritratti, comunque esercitatissimi, nondimeno li abbiam veduti ripeter più volte l'operazione su lo stesso individuo senza averne l'effetto bramato, dappoichè basta oltrepassar di qualche istante la iodurazione delle lamine, la esposizione nella camera oscura ed a' vapori mercuriali, l'applicazione delle sostanze acceleratrici, al che il grado d'intensità della luce e dell'inclinazione de' raggi vi ha forse maggiore opera, perchè non si riesca nell'operazione. La lunga pratica dunque può solo antivenir tutte queste difficoltà, al che non potrebbe supplire la più minuta descrizione di quelle tante eccezioni che presenta ancora la daguerrotipia.

che più se ne allontana, si avranno più in più piccole, e ciò per le ragioni esposte precedentemente.

384. *Vetri continuatori*—E. Becquerel, partendo dalla facoltà che hanno i raggi *inerti*, cioè il rosso, giallo, arancio e verde di continuar l'impressione prodotta da'raggi turchino e violetto, ebbe l'idea di adoperare, invece de' vapori mercuriali, vetri che avevano i primi quattro colori, che chiamò *vetri continuatori*, e *raggi eccitatori*, i due ultimi.

L'applicazione intanto del principio così stabilito da E. Becquerel non diede risultamenti sodisfacenti, perchè le pruove erano sbiadate ed assai poco distinte. Nondimeno Buron, usando de'vetri continuatori e de'vapori mercuriali ebbe risultamenti più sodisfacenti. Così dopo aver iodurata la lamina di argento ed esposta alla camera oscura, come l'ordinario, ponendola dopo in una scatola coverta con un vetro giallo, e dopo a'raggi solari per un quarto d'ora almeno, esponendola a'vapori mercuriali si avranno impronte in tempo almeno $\frac{1}{4}$ meno che nella camera oscura, che quando operasi senza il vetro giallo ed i raggi solari. Anche operando con la sola azione de'raggi solari, senza i vapori mercuriali, si hanno impressioni alquanto buone, ma deve tenersi la lamina a'raggi solari almeno per mezz'ora. Le impressioni, quando l'operazione è ben condotta, debbono apparir dopo i primi minuti, osservandole attraverso il vetro continuatore, ed esser compiute dopo mezz'ora, che se ciò non succede, è segno che vi ha qualche inesattezza nell'esecuzione del metodo descritto.

385. *Carte fotogeniche.* Si è cercato sostituire alle lamine di argento fissate sul rame, la carta preparata con sostanze impressionabili, per aver disegni fotogenici più stabili, ed impedire il riflesso che producono le lamine di argento, il quale altera la nettezza delle immagini. Bayard ne compose le prime, ma non comunicò il suo metodo. Biot lesse nell'Accademie delle scienze nella tornata degl'11 febbraro 1839 la ricetta datali da Daguerre ch'è la seguente : s'immerga la carta da stampa nell'etere muriatico, fattosi spontaneamente appena acido, si lasci seccare compiutamente all'aria, o ad un dolce calore in una stufa, e si immerga in una soluzione di nitrato di argento, seccandola dopo come prima, ma nell'oscuro. In siffatto modo la carta si altera subito alla luce diretta ed anche alla luce diffusa, soprattutto quando è ancora umida, ma quando è perfettamente prosciugata non più si altera. Questa carta fu detta *inversa*.

386. *Carta calotipa, o fotogenica di Talbot*—La preparazione di questa carta si divide in due parti.

1.° Si bagni un foglio di carta da scrivere da una faccia, che si segna con lapis, con una soluzione di nitrato di argento fatta con 10 gramme di questo sale cristallizzato, e 175 gram: di

acqua pura. Seccata ad un lento calore, s'immerga per due minuti in una soluzione fatta con 500 grani di ioduro di potassio, e libbre due di acqua pura. Si lavi dopo la carta con acqua, si secchi e si conservi lontana dalla luce. La carta così preparata si è detta *carta iodata*, e può conservarsi all'oscuro per un tempo lunghissimo.

2.° La *carta iodata* si lavi con una soluzione che si è detta di *gallo-nitrato di argento*, fatta con 10 gramme di nitrato di argento e 9 gram. di acqua pura, aggiugnendovi la sesta parte di acido acetico un poco forte, e si unisca all'egual volume dell'altra di acido gallico saturata a freddo, poco per volta, perchè facile a scomporsi col tempo, operando con la semplice luce di una candela. Si secca dopo ad un dolce calore, e si conservi lontana dall' azione della luce solare, in mezzo le pagine di un libro. Questa carta quando avrà ricevute le impressioni nella camera oscura, si lavi con una soluzione saturata di sal marino, per arrestar l' ulteriore azione della luce; ma si preferisce, dopo tolta la carta della camera oscura, in cui si tiene per 1 a 2 minuti, bagnarla nella soluzione di *gallo-nitrato di argento* descritta. Così l'immagine a poco a poco apparisce come con i vapori mercuriali, quando le carta bagnata si prosciuga al fuoco. In queste pruove vi ha sempre l'inconveniente che i chiari son resi scuri, ed al contrario, il perchè si è detto metodo e effetto *inverso*.

Lassaigne ha potuto evitare l'inconveniente dell'effetto *inverso* ed averlo *diretto*, facendo prima annerire al sole la carta impregnata di soluzione di nitrato di argento e sal comune, e dopo seccata, come si è detto precedentemente, immergerla in una soluzione debole di ioduro di potassio. In tal modo, mettendo la carta dietro una stampa, ed esponendo questa a' raggi solari avviene, che siccome tutt'i tratti neri della stampa non lasciano passare i raggi solari, così quelli difendono la carta dalla scomposizione del sotto cloruro di argento; al contrario le parti traslucide della stampa trasmettono in parte la luce, e determinano questa scomposizione, dando luogo alla formazione del ioduro di argento pallido. La carta così preparata e disposta, deve tenersi per qualche ora al sole affinchè l' effetto abbia luogo, e dopo si lava con acqua per togliere le ultime porzioni di ioduro di potassio adoperato. Le impronte così ottenute possono tenersi impunemente alla luce diffusa senza che si alterino sensibilmente. Esse presentano solo il difetto che i chiari hanno una tinta giallognola.

387. Tra i tanti altri metodi proposti per aver le immagini fotografiche, de' quali si sono esposti quelli che han dato migliori risultamenti, Daguerre, in una lettera diretta ad Arago, ne ha descritto un altro col quale pare che gli effetti siano più so-

disfacenti. Egli per mezzo dell'applicazione di più ioduri e cloruri metallici è pervenuto a produrre azioni galvaniche che permettono ora applicare uno strato di ioduro assai più spesso che non erasi ottenuto con i metodi precedenti. Le nuove sostanze adoperate sono;

1° *Soluzione acquosa di bicloruro di mercurio* (sublimato corrosivo), fatta con 5 decigram. di questo composto e 700 gram. di acqua distillata.

2° *Soluzione acquosa di cianuro di mercurio* saturata a freddo, ed allungata dopo coll'egual volume di acqua distillata.

3° *Olio di petrolio bianco acidolato*. Si ha con un decimo in volume di acido nitrico, e dopo 48 ore, agitandolo da tempo in tempo, si decanti.

4° *Soluzione di cloruro di oro e di platino*. Si ha facendo separatamente le soluzioni de' due cloruri e poi mescolandole nell'egual volume, cioè: 1° cloruro di oro 1 gram., iposolfito di soda 4 gram. sciolti in una libbra di acqua pura; 2° cloruro di platino $2\frac{1}{2}$ decigram. sciolto in lib. 6 di acqua pura.

Daguerre per render più breve la indicazione di queste soluzioni e del rosso d'inghilterra, ha dinotata semplicemente la 1ª *sublimato*, la 2ª *cianuro*, la 3ª *olio*, la 4ª *oro e platino*, ed il rosso d'Inghilterra *rosso*. Ecco come si adoperano: (1)

Prima preparazione della lamina — Si pulisca subito con *sublimato* e tripoli, e dopo col *rosso* sin che si abbia un bel nero; si versi la soluzione di *cianuro* su la lamina, e si operi come si è detto per la fissazione delle immagini con la soluzione di oro (§ 381.), riscaldandola con la lampada. Il mercurio vi si precipita, e vi forma uno strato bianchiccio; si lasci raffreddare un poco, si faccia cadere il liquido e si pulisca a secco col cotone e *rosso*. Per toglier lo strato di mercurio, si stropicci col cotone inzuppato di *olio*, sino che torna a divenir nera la superficie e si finisca col solo cotone a pulirla.

Vi si versi dopo la soluzione di *oro e platino*, operando allo stesso modo che si è detto pel cianuro a caldo, e dopo si confrica leggiermente col cotone e *rosso*. La lamina così preparata può conservarsi per lungo tempo, e quando deve usarsi si pratica prima la *seconda operazione*, e poi la iodurazione per metterla come l'ordinario nella camera oscura.

Seconda operazione — Su la lamina così preparata, la superficie ritiene l'ultimo strato di *oro e platino*. Si stropicci coll'*olio* e *rosso* sino che la lamina divenga nera, poi con l'alcool ed il cotone solamente per toglier lo strato di olio e rosso. Si confrica

(1) Per brevità useremo le stesse abbreviazioni, cioè *sublimato, cianuro, olio, oro e platino, rosso* nella descrizione del loro uso, e per meglio distinguerle le segneremo sempre in corsivo.

dopo fortemente col cotone inzuppato di *cianuro*, e siccome questo strato secca prontamente, si stropicci con cotone imbevuto *di olio* sollecitamente, per mescolare il più possibile le due sostanze, poi col cotone a secco, cambiandolo sino che la superficie sia ben purgata dall' olio, e si finisca con rosso e cotone a secco, confricando circolarmente e leggiermente; dopo con cotone ed *olio*, poi con *rosso*, sino a toglierne l' olio, e si finisca con cotone solamente a darli l'ultima politura.

Il metodo esposto si applica per le lamine nuove, ma per quelle che hanno già servite alle pruove, e che voglion queste cassarsi per adoperar nuovamente la stessa lamina, bisogna operar secondo che l' immagine si è fissata col cloruro di oro, o lavata solo coll'iposolfito, nel modo seguente:

Su la pruova fissata col cloruro — Si stropicci col cotone inzuppato con acido nitrico a 2 gradi e *rosso*; poi si pulisca con l'*olio* e *rosso*, sino a far disparir l'immagine su la lamina. Si continui l'operazione come si è detto precedentemente nella *seconda operazione* della nuova lamina, cominciando dall'alcool in poi.

Su la pruova lavata —Si confrichi prima con alcool e *rosso* e si finisca come nella precedente, a partire anche dall'alcool.

Iodurazione. Si è detto che la lamina preparata con la prima operazione può conservarsi lungamente, ma dopo aggiuntavi la seconda operazione, il iodio deve applicarvisi non più tardi nell'intervallo di 10 a 12 ore, tenendovi la lamina come l'ordinario, preferendo toglierla dall' azione de' vapori di iodio quando avrà acquistato un colore rosso violaceo, che si è trovato più convenevole. Ottenuta l'immagine al vapore mercuriale, si lavi la lamina con l'iposolfito di soda, adoperandone solo 60 gramme per libbre due di acqua distillata.

Immagini sopra carta argentata.

388. Raifè presentò all'Accademia delle scienze varie immagini fotografiche sopra carta argentata. Per averle, deve prima incollarsi la carta argentata sopra altra carta più doppia, e dopo seccata vi si sparge sopra il tripoli finissimo, e si stropiccia leggiermente col cotone. Si passa quindi alla iodurazione, come si fa per le lamine, e dipoi alla camera oscura, a' vapori mercuriali, e si finisce col lavarla colla soluzione d' iposolfito. Questa carta offre infiniti vantaggi in confronto delle lamine, e le immagini vi sono durevoli come quelle ottenute su le lamine.

Immagini di Moser.

389. Moser di Kœnisberg, diresse ad Humboldt alcune nuove ed importanti sperienze fatte su le immagini daguerriane, le

quali vennero da Regnault comunicate all'Accademia delle scienze. Moser confirmando i principali risultamenti ottenuti da E. Becquerel, pervenne meglio ad avere effetti positivi, operando con vetro verde invece del rosso e giallo. Ma tra le tante osservazioni fatte su l'opera de'diversi raggi elementari, e con la luce polarizzata, Moser pervenne ad altri inattesi risultamenti. Così egli conoscendo che i vapori di iodio, e quelli del mercurio si prestano assai bene alla manifestazione delle immagini, volle osservar l'effetto dell'azione delle impronte sopra metalli o non metalli, come medaglie, rilievi ec. poste a poca distanza dalla superficie di una lamina iodata nell'oscurità perfetta, o nella luce diffusa, e dopo esposta al vapore mercuriale, ne ottenne impressioni assai delicate. Egli ebbe anche quest'effetto tenendo la medaglia sopra la lamina pulita senza averla esposta a'vapori di iodio, ma solo dopo a quelli di mercurio, e gli stessi risultamenti aveva operando con lamine di diversi metalli. Conchiuse Moser da questi ed altri numerosi sperimenti, che quando una superficie è stata toccata in alcuni punti da un corpo, essa ha acquistata la proprietà di condensare i vapori delle sostanze che hanno per essa una certa forza di adesione, che differisce nelle parti toccate da quella in cui non ha avuto luogo il contatto, cosichè il solo contatto basta a produrre una modificazione anologa a quella dell'azione della luce.

Tra queste sperienze è assai rimarcabile la seguente: Una lamina di argento fu esposta al vapore di iodio al modo ordinario in una oscurità compiuta nella notte, vi si pose sopra una medaglia di agata, una lamina di rame incisa, un anello ec. esponendo dopo la lamina a'vapori mercuriali; le immagini delle figure che erano su l'agata, e quelle degli altri oggetti con le lettere ec., apparvero assai distinte su la lamina iodurata. Queste sperienze diedero lo stesso successo operando con una lamina di rame invece di argento. Altre lamine preparate allo stesso modo, furono esposte, dopo il solo contatto, alla luce diffusa ed a'raggi solari, e le immagini si mostrarono anche così distinte come quando si esponeva a'vapori mercuriali. Ed in ultimo, Moser espose la lamina impressionata sotto i vetri colorati alle radiazioni solari, ed ottenne debole effetto con i vetri rossi e gialli, ma il vetro violetto le manifestava assai distinte. Conchiuse Moser da queste ed altre sperienze, che i vapori non sono assolutamente necessarii per produrre l'effetto, dappoichè in una lamina iodata, posta per un tempo sufficiente nell'oscurità perfetta a poca distanza all'azione di un corpo che aveva un incisione ec. si vedeva apparir l'immagine del corpo, e le parti che vi avevano avuto più opera erano più oscure.

Humboldt, nel rapportar le sperienze di Moser prodotte nell'oscurità al contatto ed a piccole distanze, aggiunse, che Ascher-

sonn le ripetè a Berlino in presenza sua e dell'astronomo Encke, tenendo le medaglie ed altri corpi alla distanza di un millimetro dalla superficie della lamina di argento.

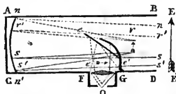
Teloscopii e Cannochiali.

390. L'invensione de' *Teloscopii* fu fatta nel 1590 per azzardo da Zaccheria Jansen, il quale era semplice fabbricante di occhiali a Middlebourg, e dipoi vennero perfezionati da Galilei, e da Simon Marius, i quali fecer costruire lunghi teloscopi per le osservazioni astronomiche, e questi d'allora vennero sempre più perfezionati. In seguito questi strumenti si fecero servir per osservare anche gli oggetti terrestri, e si dissero *cannocchiali*. I teloscopii dunque sono usati nelle ricerche astronomiche per osservar gli astri, ed i *cannocchiali* per veder gli oggetti terrestri che sono a più o men grande distanza. I primi sono a *rifrazione*, quando si costruiscono con sole lenti, e si dicono perciò *diottrici*, ed a *rifrazione* e *riflessione*, se compongonsi di lenti e specchi, e si chiamano *cato-diottrici*, o a *riflessione* semplicemente. I secondi cioè i *cannocchiali*, si fanno sempre con sole lenti, cioè sono a rifrazione o diottrici, e si dicono comunemente *cannocchiali, o occhiali di lunga vista*. Quando poi servono a veder gli oggetti a poca distanza, come quelli che si usano pe'teatri ec. si fanno con una sola obbiettiva ed un oculare, come il teloscopio di Galilei, ma se destinansi ad osservarli a grandi distanze, hanno dippiù due lenti bi-convesse poste tra l'aculare e l'obbiettiva.

391. *Teloscopio di Galilei.* Questo strumento diottrico ha due sole lenti, una divergente, cioè bi-concava, o piano-concava, che fa da *oculare*, ed un altra bi-convessa che è l'*obbiettiva*. Queste due lenti son chiuse in due tubi mobili, e la loro distanza è tale che il foco reale dell'obbiettiva, che è il punto in cui si riuniscono i raggi, coincida col foco visuale dell'oculare; perciò quest'ultima lente è posta in un piccolo tubo mobile, affin di poterla avvicinare o allontar dall'obbiettiva, facendosi il foco di quest'ultima tanto più corto quanto più lontano è il punto da cui partono i raggi, essendo in questo caso essi meno divergenti, ed al contrario. I raggi elementari che compongono ciascun fascetto luminoso che è riflesso dall'oggetto, traversando l'oculare, divergono sensibilmente paralleli, s'intersecano, ed il loro prolungamento rappresenta l'immagine dritta. La posizione più favorevole dell'occhio è assai prossima all'oculare, perchè se più se ne allontana, esso perde una parte de'raggi che l'attraversano. Questa disposizione delle lenti poco differisce da'piccoli teloscopi da

teatro, essendo in essi l'obbiettiva bi-convessa, e l'oculare bi-concava, e di rado la prima si fa acromatica, perchè destinata a veder gli oggetti con la luce delle fiamme, da cui i colori che si sviluppano sono poco vivi, e la loro costruzione non permette darle sufficiente lunghezza, dovendo servire a veder gli oggetti a poca distanza, ed ingranditi poco più del vero. Dietro queste considerazioni, il teloscopio di Galilei si è anche detto *teloscopio da teatro*, perchè quest'ultimo ebbe origine dalla costruzione di quello di Galilei.

392. Teloscopio di Newton — Esso è composto dello specchio metallico concavo *n n'* posto nel fondo del gran tubo A C DB, dirimpetto al quale, e propriamente nel suo asse, trovasi lo specchio piano *e e'* anche di metallo, di figura ellittica, inclinato a 45 gradi all'asse del teloscopio. Questo specchio è situato tra il grande specchio concavo ed il suo foco, e ad una distanza da questo foco che sia eguale alla distanza del centro dello specchio *e e'* dal foco dell' oculare bi-convessa posta nel piccolo tubo F G, perpendicolare all' asse del grande specchio *n n'*, tirata dal centro del piccolo specchio *e e'*.

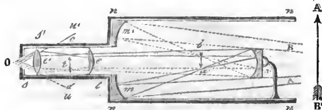


Per concepir come si formi l'immagine dell'oggetto, supponiamolo dirimpetto in E E'. I raggi che formano ciascun fascio, partendo da ogni punto dell'oggetto da cui è poi veduto, venendo assai lontani, arrivano quasi tutti paralleli, come veggonsi ivi segnati in *n r'*, *ss'*, ed entrando nello strumento, dopo essersi riflessi ne'punti *r' s s'*, su lo specchio *n n'*, s'intersecano, e l'immagine che sarebbe veduta capovolta in *r* se non vi fosse l'altro specchio *e e'*, è raddrizzata da questo come vedesi segnata dalla freccia che è dietro lo specchio *e e'*, è veduta assai più grande attraverso la lente convergente dall'occhio posto in O.

Siccome questa seconda riflessione su lo specchio *e e'* porta seco una perdita considerevole di luce, così Newton si avvisò dopo sostituire a questo specchio un prisma ad angoli diedri retti, su l'ipotenusa del quale si operava la riflessione totale de'fascetti luminosi (1).

(1) Siccome col teloscopio newtoniano riesce difficile trovar l'oggetto, vi si aggiunge sopra un piccolo cannocchiale, che si è detto *trovatore*, il quale ha più largo campo, ed il suo asse può portarsi parallelo a quello del teloscopio, e così si perviene subito a trovar l'oggetto. Questo cannocchialetto, o trovatore, è ora generalmente annesso a tutti gli altri teloscopii astronomici.

393. *Teloscopio di Le-Maire*—Esso differisce dal precedente, perchè composto del solo specchio concavo *m m'*, nel fondo del gran tubo A C D B, e della lente bi-convessa *e e*, posta nel piccolo tubo *n n'*. Lo specchio è mobile e può inclinarsi per mezzo della vite *s s' n*. Il gran tubo è più aperto da B D, affinchè l'occhio posto in O raccolga maggior numero di raggi che vengono dall'oggetto N N', i quali come in quello di Newton, venendo paralleli all'asse dello specchio *m m'*, riflessi ne' punti *a a'* ec. ivi segnati, intersecandosi portano l' immagine dell'oggetto attraverso la lente all' occhio dell'osservatore che è in O, vedendola così più ampliata, ma capovolta, come la dinota la piccola freccia segnata avanti la lente.



394. *Teloscopio Gregoriano*. Esso poco differisce da'precedenti. Lo specchio concavo *m m'* è forato nel mezzo, per dar passaggio al tubo *s s' l* che porta le due lenti *ee'*, e prossimamente all'estremità del gran tubo *n n*, *n n*, vi è l'altro specchio *a'* più concavo del primo, il cui diametro uguaglia quello dell' apertura del grande specchio, ed è sostenuto da un gambo fissato nel tubo in un canaletto per allontanarlo ed avvicinarlo secondo il bisogno. Il piccolo specchio *a'* deve situarsi al di là del foco *ba* del grande specchio *mm'*, a tale distanza, che il foco del primo si trovi lontano dal secondo di una quantità che sia nella seguente proporzione, cioè il foco del grande specchio è al piccolo come il foco di quest'ultimo è allo spazio che deve esservi tra i due fochi dei due specchi. Così supponiamo essere il foco del grande 20 pollici, ovvero 240 linee, e quello del piccolo 3 pollici, ovvero 36 linee, si avrà questa proporzione: 240: 36 : : 36: 5 e due quinti, e da ciò si avrà che i fochi de'due specchi debbono esser lontani l'uno dall'altro di 5 linee e due quinti.

Per intender come si formino le immagini, supponiamo l'og-

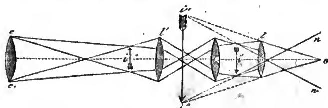
getto A′ B′ ad una grande distanza; i raggi che ne emanano entrano nello strumento per AB, ed intersecandosi sono riflessi dal grande specchio *mm′*, che porta al suo foco l'immagine capovolta *b a*, quindi intersecandosi un altra volta, cadono divergenti sul piccolo specchio *a′*, il quale li riflette convergenti verso gli oculari *ee′*, perchè il punto della loro divergenza è più lontano da questo specchio che non è il suo foco de'raggi paralleli. Questi raggi incontrando la prima oculare covesso-piana *e*, son resi più convergenti, e disegnano l'immagine *t* dritta, la quale è così veduta, ma assai più ampliata, dall'occhio in O posto prossimamente dietro l' oculare bi-convesso, cioè secondo l' angolo *c* O *d* (1).

395. *Teloscopio di Ross*. Questo teloscopio, di cui si è dato qualche cenno ne'giornali, sotto il nome di *teloscopio-mostro*, a cagione delle dimensioni sue gigantesche, supera tutti quelli che eransi sinora fatti per avere il maggiore ingrandimento possibile. Il suo tubo è lungo metri 17,11 con un diametro di metri 2,13; la sua estremità ov'è situato il grande specchio di 6 piedi, fatto con una lega di rame e stagno, riposa sul suolo, appoggiata ad un ginocchio sferico, che permette potersi rivolgere ovunque l'altra estremità dello strumento. Da ciascun lato sorgono, parallelamente al meridiano, due solidissime mura di pietre lavorate, lunghe metri 21,958, ed alte 17,196; tra queste il teloscopio si muove liberamente, potendosi inclinare dalla parte sud sino all'orizzonte, e dalla parte nord sino al polo; e quantunque l'enorme peso di tutto lo strumento sia di 15138,52 chilog., nondimeno due soli uomini possono voltarlo dalla più bassa alla più alta posizione. L'osservatore è comodamente seduto vicino l'estremità superiore del tubo ove si riuniscono i raggi nel foco dello specchio. Ivi è l'oculare, posto lateralmente, che con un piccolo riflettore obliquo gli dà il modo di guardare entro lo specchio, come se vi si guardasse direttamente. L'osservatore può facilmente imprimerli un movimento laterale, che permette di osservare un oggetto mezz'ora prima, ed altrettanto dopo il suo passaggio pel meridiano. La precisione poi con cui è lavorato lo specchio, e la grande sua dimensione, permettono forzar l'ingrandimento di questo telo-

(1) Il diametro apparente dell' oggetto viene col teloscopio Gregoriano aumentato di una quantità eguale al quadrato del foco del grande specchio, diviso per lo prodotto del foco del piccolo moltiplicato pel foco dell'oculare. Or supponiamo, come nel caso esposto, che il foco del grande sia 240 line e quello del piccolo 36, ed il foco dell'oculare di 21 linee; allora il quadrato di 240 è 57600; il prodotto 36 moltiplicato per 20, è 720. Se dunque si divida 57600 per 720, il quoziente 80 dinota il numero delle volte che è aumentato il diametro dell'oggetto veduto col teloscopio; il che dinota, che il diametro apparente dell'oggetto sarebbe veduto con questo strumento, della stessa grandezza che lo sarebbe colla semplice vista se quell' oggetto si trovasse luntano l' ottautesima parte di quello che esso è realmente.

scopio sino a 6000 volte, il che vale che esso avvicina di tanto l'oggetto che si vuol guardare. Così p. e. essendo la distanza della luna alla terra di 207 mila miglia, questo teloscopio ce la mostra come se la vedessimo ad occhio nudo a sole 35 miglia (1).

396. *Cannocchiale, o lunga vista*—Questo strumento, inventato da Rheite, è fatto con sole lenti, e serve per osservare gli oggetti terrestri a più o meno grande distanza, ed anche gli astri quando è fatto con grandi obbiettive e più lenti bi-convesse poste in un tubo assai lungo. La figura qui sotto dimostra la disposizione in-



terna delle lenti, e come gli oggetti son veduti dritti, ed in un campo più esteso che nel teloscopio di Galilei. Esso si compone di quattro lenti bi-convesse, cioè *e* *e'* che serve d'obbiettiva, ed *l* d'oculare, la terza *l'* è posta dietro l'obbiettiva, e l'altra *l''* dietro l'oculare. Queste lenti *l' l''* son poste alla distanza de'loro fochi in un tubo separato e fisse in quello dell'oculare, il quale può

(1) Dall'estratto di una lettera del dottor Robinson, diretta ad E. Cooper, da Birr Castle, 13 Marzo 1845, si hanno le seguenti importanti osservazioni fatte col teloscopio del Conte di Ross: Col riflettore di 6 piedi le nebulose più fulgide osservate da Herschel, si son vedute come sciolte in altrettante stelle distinte. L' ingrandimento è stato di 560 volte, e per que'nuclei detti stelle o centri stellari, è stato di 1280. Il tipo generale di queste nebulose è assai notevole, dappoichè la gran massa della nebulosità è composta di piccole stelle, ma nel centro vi ha un mucchio eminentemente globulare di più fitte e belle stelle. Le strisce oblonghe, ovvero ellitiche, sono anelli o dischi di piccole stelle veduti di profilo ec.

In un articolo estratto dal *Debats*, riportato nel n. 108 della Gazzetta di Firenze (Martedì 8 settembre 1846) si legge: Si parla molto in Inghilterra delle portentose osservazioni fatte su la luna col *teloscopio mostro* di Lord Ross. La potenza di questo strumento è tale, che si rende visibile un oggetto alto 100 piedi, e si tien per certo che anche se fosse di 60 piedi potrebbe esser veduto. La superficie della luna presenta un ammasso di rupi e di sassi sconvolti, che sembrano portar le tracce dell' azione del fuoco, ed in taluni luoghi veggonsi veri crateri vulcanici. Nondimeno non si è scorto sinora segno di edifizi o rovine di fabbriche che attestassero essere stata o esser presentemente la luna abitata da mortali simili a noi. Quest' astro inoltre non offre apparenze che fanno scorgere mari, laghi, o altra cosa che indichi esservi acqua, e perciò sembra tutto annunzii deserto e solitudine nella luna.

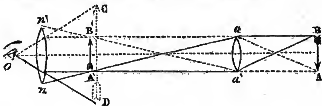
Il teloscopio del Conte di Ross è ora già solidamente disposto su i suoi sostegni, e ci attendiamo altre nuove ed importanti osservazioni che potranno farsi in prosieguo con esso.

farsi avanzare e retrocedere per portarle al foco dell'obbiettiva. I raggi che vengono paralleli dall'oggetto, attraversando l'obbiettiva s'intersecano e cadono quasi paralleli su la lente l''.

La nuova immagine che si forma, e che vedesi dinotata dalla freccia i', vedesi capovolta per rapporto alla precedente i, e consequentemente dritta per rapporto all'oggetto. L'oculare l riceve i raggi che da essa emanano, li fa divergere, e fa vedere all'occhio in o un immagine assai più ampliata in $i' i''$. Togliendo le due lenti di mezzo, e sostituendo all'oculare una lente lenticolare, cioè assai piccola e di corto foco, presso a poco come quella de'microscopii composti, si vedranno gli oggetti assai più grandi e distinti, ma capovolti, ed allora può il cannocchiale servir per le osservazioni astronomiche. Esso differisce solo dal cannocchiale Batavo, o cannocchiale di Galileo, perchè questo ha un obbiettivo bi-convesso, ed un oculare bi-concavo, come son quelli da teatro. Volendo guardare il sole, si mette un vetro colorato avanti l' oculare per diminuir l' effetto de' raggi solari.

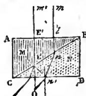
Il campo poi del cannocchiale, che destinasi per le osservazioni astronomiche, dipende dall' oculare, ma la sua chiarezza per un ingrandimento eguale, dipende dal diametro dell'obbiettiva. Quando queste hanno da 11 a 12 pollici, come son quelle ora fatte in Francia da Lerebours, e Chauchoix, può aversi un ingrandimento di 600 a 900 volte.

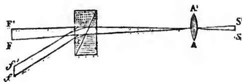
397. Keplero aveva fatto anche un cannocchiale astronomico con due sole lenti, cioè un obbiettiva ed un oculare assai più convessa, come vedesi nella fig. Così quando l'oggetto B A tro-



vasi assai lontano, come un astro ec., i raggi arrivano sensibilmente paralleli su l'obbiettiva $a\,a'$, ed intersecandosi, la sua immagine si dipingerà al foco de'raggi paralleli in A'B' dritta, ma l'occhio vede questa immagine attraveso l'oculare sotto un angolo più grande in C D assai più ampliata. Si dimostra col calcolo, che la grandezza dell' immagine è alla grandezza reale dell' oggetto, come la distanza focale dell' obbiettiva è a quella dell'oculare, dal che segue, che adoperando oculari a foco più corto, l'immagine sarebbe veduta più grande, ma allora si perderebbe quanto alla chiarezza e distinzione dell'ogetto.

398. *Micrometro a doppia immagine.* Questo micrometro scoperto da Rochon, è formato da due prismi di spato d'Islanda MN, o di ogni altra sostanza bi-rifrangente, ma ad un asse, congiunti in modo da formare un prisma rettangolare, come vedonsi nella figura di lato, cioè A B C, D B C, uniti per la diagonale C B. Supponiamo che la faccia A B del prisma M sia perpendicolare all'asse, e che le facce B C, C D, D B del secondo prisma N sieno parallele all'asse; i due prismi essendo congiunti, è evidente che se un raggio di luce che viene dal punto m' cada su la superficie A B perpendicolarmente alla sua direzione, esso penetrerà sino alla superficie di separazione de' due prismi C B, senza provare alcuna deviazione, perchè l'asse di rifrazione del primo prisma è perpendicolare alla superficie A B; ma al punto d'incidenza n con la superficie del secondo prisma N, siccome l'asse è perpendicolare al raggio luminoso, quest'ultimo si dividerà in due, come ne'cristalli bi-rifrangenti, cioè il raggio ordinario continuerà il suo cammino senza provare alcuna deviazione, per essere i due prismi della stessa sostanza, ed il raggio straordinario sarà deviato a sinistra o a destra, secondo che l'asse sarà ripulsivo o attrattivo. L'occhio non potrà ricevere i due raggi emergenti che provengono da uno stesso raggio incidente, ma esso riceverà nello stesso tempo il raggio diretto m'O, ed il raggio straordinario On, che vengono dall'altro raggio incidente m i, e così vedrà due immagini distinte, le quali saranno più o meno allontanate secondochè la doppia rifrazione della sostanza de'due prismi sarà più o meno energica, e che l'angolo rifrangente sarà più o meno grande.





399. Supponiamo ora che l'asse ottico dell'obbiettiva AA' incontri nel suo prolungamento la parte inferiore di un oggetto S S'; siano F F' i fochi de'raggi inviati da'punti S ed S', e che F F' sia l'immagine di S S'; mettiamo il prisma bi-rifrangente descritto avanti questa immagine, come vedesi nella figura, allora i raggi ordinarii faranno sempre il loro foco in F F', ed i raggi straordinarii formeranno un altra immagine in $f f'$, la cui distanza alla prima dipenderà dalla posizione del doppio prisma; dappoichè

l'angolo F $c f$ è costante, e per conseguenza, a misura che il doppio prisma si avvicina alla lente A A', le due immagini si allontanano, e quando il prisma si allontana, esse si avvicinano; ma se F F' coincide con $c c'$, le due immagini si confondono, e se l'angolo di deviazione del prisma è maggiore del diametro apparente dell'oggetto SS', veduto dal punto AA', vi ha sempre una posizione del prisma in cui le due immagini sono tangenti, ed in questo caso l'immagine órdinaria trovasi compresa nell'angolo di deviazione F' c' F; dal che ne segue, che misurando la distanza F'c', si dedurrà la grandezza di FF'; or siccome la distanza focale di A F della lente è conosciuta, potrà agevolmente calcolarsi il diametro apparente di FA F' dell'oggetto, il quale se comprende un piccolissimo angolo, si troverà col calcolo che esso è proporzionale alla distanza F c.

I cannocchiali astronomici che son proveduti di micrometri a doppia immagine, hanno una fenditura longitudinale a fin di poter muovere il doppio prisma nell'estensione di A F. Quando si vuol misurare il diametro apparente di un oggetto qualunque, si determina prima la posizione del foco, facendo muovere il doppio prisma sino che le due immagini coincidano perfettamente. Allora osservasi il punto della divisione laterale a cui corrisponde l'indice de'prismi, e da questo punto deve contarsi la distanza F c; dipoi si allontanano i due prismi sino a condurre le due immagini a contatto, e si troverà che la distanza degl'indici di rifrazione in queste due posizioni, è eguale ad Fc; ma per fissare il diametro apparente dell'oggetto, fa duopo fare una volta per tutte la stessa osservazione sopra un oggetto di cui siasi prima determinato il diametro apparente, o per mezzo di operazioni trigonometriche, o combinando il suo diametro reale con la sua distanza, osservando il valore di F c che li corrisponde, e per una semplice proporzione si avrà il diametro apparente di tutti gli altri corpi, quando è conosciuta la distanza F c che li corrisponde. Questi diametri sono segnati sul teloscopio, assieme al rapporto della distanza dell'oggetto alla sua grandezza, in modo che quando si conosce uno di questi elementi può facilmente dedursene l'altro. Così dopo conosciuta la grandezza di un uomo, può dedursene la sua distanza, osservando, solo che queste determinazioni sono tanto meno esatte, quando più l'oggetto è più piccolo e più lontano.

A lato di queste divisioni angolari, si trovano sul tubo del cannocchiale segnati altri numeri che esprimono il rapporto tra la distanza e la grandezza di un oggetto. Così a lato del numero 4 è segnato 859, il che dinota che la distanza, di un oggetto è 859 volte la sua grandezza, quando è veduto sotto un angolo di 4; e perciò col mezzo di questa seconda divisione, il micrometro di Rochon dà la distanza di un oggetto di cui si sa la grandezza, o

reciprocamente la grandezza di un oggetto di cui si conosce la distanza (1).

Quanto si è esposto riguarda l'effetto prodotto su l'obbiettiva, perchè l'oculare non può avere alcun opera nel distruggere il contatto delle immagini ove esistesse, o stabilirlo quando non vi esiste. Una condizione indispensabile è la soprapposizione perfetta delle due facce de'prismi, al che riuscendo impossibile ottenersi senza interposizione di aria, vi si supplisce incollandoli con l'olio di terebinto. Nel micrometro di Rochon descritto, il prisma si situa nel cannocchiale astronomico tra l'obbiettivo e l'oculare, in modo che movendosi liberamente resti sempre nell'asse. Arago, che si è servito di questo micrometro per misurare il diametro de'pianeti, ha trovato più vantaggioso mettere il prisma tra l'oculare e l'occhio, adoperando però un oculare particolare, i cui vetri potevano muoversi a fin di cambiarne a volontà gl'ingrandimenti.

400. *Megascopo* — Questo strumento, ch'è una imitazione del microscopio solare, fu immaginato da Charles verso il 1780, per aver le copie di oggetti ridotti o ampliati, come stampe, bassi rilievi ec. Esso differisce dal microscopio solare per la natura degli oggetti e pel modo come sono rischiarati, e si riduce ad una sola lente bi-convessa posta nel foro dell'imposta di una camera oscura, stando fuora l'oggetto rischiarato da' raggi solari, diretti o riflessi da uno specchio inclinato postovi in alto. L'immagine si riceve su la carta come nella lanterna magica, o nel microscopio solare, e la sua grandezza deve naturalmente dipendere dalla lunghezza focale dell'obbiettiva, dalla distanza dell'oggetto alla lente, e dalla distanza a cui si riceve l'immagine. Adoperando un obbiettiva acromatica, si avranno immagini assai precise, e può allora questo strumento così semplice adoperarsi utilmente nelle ricerche di fisica e di storia naturale. Le immagini possono riceversi su la tela o su la carta, ma si preferisce un vetro traslucido, come si è detto pel daguerrotipo e per la camera ottica ec.

(1) Invece di determinare col calcolo l'angolo del raddoppiamento di un dato prisma, può dunque in questo modo determinarsi con l'osservazione, allontanando una mira circolare che ha un diametro conosciuto, che rappresentiamo per d, sino ad una distanza nota z, così che guardandola col prisma le due sue immagini sieno tangenti l'una all'altra; allora è evidente che l'angolo di raddoppiamento e, è eguale all'angolo sotto il quale si vede la mira ad occhio nudo a questa distanza z; quindi si avrà tang. $e \frac{d}{z}$; e reciprocamente, l'angolo e essendo noto, potrà determinarsi d col mezzo di z ovvero z col mezzo di d per un oggetto di cui le immagini sarebbero in contatto.

CAPITOLO VIII.

Del Magnetismo.

401. Le numerose scoperte fatte dal cominciamento di questo secolo su l'elettrico e su i fenomeni *elettrodinamici*, hanno tanto avvicinata la identità dell' elettrico col magnetico, in qualche modo preveduta da Epino, e soprattutto da Coulomb, che può dirsi ora di questi altri due fluidi imponderabili quello che si è esposto dell'identità della luce col calorico. Così Coulomb aveva sin dal 1789 considerato il magnetico come quasi identico coll'elettrico, composto cioè di due fluidi distinti, e perciò la teorica con cui davasi ragione dell'uno, si fece servire alla spiegazione de'fenomeni prodotti dall'altro, i quali perchè più generali erano l'*attrazione* e la *ripulsione*, si fissò come legge generale, *che i fluidi simili si ripellono, ed i contrarii si attraggono.*

La scoperta del fluido magnetico data epoca remotissima. Gli antichi conoscevano la proprietà che avevano alcuni minerali di ferro di attirar le particelle dello stesso metallo a qualche distanza. Essi davano a questi minerali il nome di μαγνες, cioè *magnes*, derivato da *Magnesia*, contrada della Lidia, ove trovavasi abbondantemente. E le proprietà osservate in una pietra, poi detta *pietra di calamita*, parvero più miracolose di quelle dell'ambra gialla, tanto che Talete ed Anassagora gli supposero un anima, ed Ippocrate la comprese nel numero de'purganti. Cornelio Gamma (anno 1535) ammetteva dovervi essere tra la calamita ed il ferro, de'fili raggianti invisibili; e Plutarco, che intorno la calamita eravi una emanazione capace di fare il vuoto (1).

Ma sembra che i Chinesi e gli Arabi avessero assai prima che altri conosciute le proprietà di un ago di acciaro calamitato, e tra queste più rilevanti erano il rivolgersi costantemente una estremità verso il nord, un altra verso il sud, quando era disposto in modo da poter rotare liberamente, dal che si presume avere avuta origine la *bussola* presso i chinesi, come rapportasi nell'opera di Duhalde su l'impero della China, ove è detto, che essi già servivansi della bussola mille anni avanti Gesù Cristo.

Quasi tutt'i minerali di ferro in cui questo matallo più avvicina al *minimum* di ossidazione sono attirati dalla calamità, ed alcuni sono essi stessi capaci di attirare il ferro, ma quello che

(1) Plinio rapporta che Dinocari propose a Tolomeo di fabbricare in Alessandria un tempio nella cui volta fossero disposte molte pietre di calamite per tener sospesa in alto la statua di ferro della Regina Arsinoè. E lo stesso S. Agostino fa parimenti mensione di una statua sospesa in mezzo al tempio di Serapide. È poi opione volgare, che la cassa ove dicevasi star chiuso il corpo di Maometto, fosse anche tenuta in aria da grosse calamite ec.

è conosciuto col nome di *magnete*, la possiede ad un grado maggiore, e perciò gli altri che in vece sono attirati dalla magnete tanto naturale che artificiale si dicono *magnetici*, come il ferro *assidato*, *solforato magnetico* ec. (1)

Fenomeni principali delle calamite.

402. Una proprietà che più caratterizza una calamita è la sua *polarità*, che dicesi *polarità magnetica*, ed è, che quando un ago o una verghetta di acciaro calamitata può muoversi liberamente, osservasi costantemente, che un estremità si dirigge spontaneamente presso a poco verso il *nord*, e l'altra verso il *sud*, tornaudo sempre in questa posizione ogni volta che se ne allontana; ma la proprietà più importante è l'attrazione sul ferro, quando non è calamitato, e la ripulsione pe'poli simili di questo metallo, e l'attrazione pe' poli contrarii quando è calamitato. Così i due poli di una calamita attirano il ferro, e questo attira i due poli con una forza eguale e contraria, ma la intensità magnetica manifestasi sempre verso i poli con più energia. Per trovare o conoscere i poli di una calamita sia naturale o artificiale, basta avvolgerla nella limatura di ferro e poi alzarla, perchè si vegga, che non tutt' i punti della calamita posseggono la stessa forza attrattiva, ma i suoi estremi solamente si trovano più coverti di limatura, le cui particelle sono disposte l'una dopo l'altra in forma di filamenti ordinati perpendicolarmente alla superficie della calamita, ed essi divengono sempre più corti a misurare che avvicinano al mezzo ove una sola non vi aderisse. Si son detti *poli* o *centri di azione magnetica*, i due punti opposti in cui la limatura si riunisce in più copia in filamenti paralleli tra essi, e questi in generale sono due, ma vi ha delle calamite naturali che ne presentano più di due, e comunque una calamita naturale o artificiale si rompa in piccoli pezzi, ciascuna parte diverrà anche una calamita che avrà egualmente i due poli opposti, come quella da cui deriva. Questi poli si son detti uno *nord*, o *boreale*, e l'altro *sud* o *australe*. Da ciò si è dedotto, che in ciascuna metà di una calamita debba esservi una forza identica, eguale, e diretta in senso contrario, che ha proprietà apposte, cioè, che un lato attira l'estremità di una calamita e respinge l'altro. L'azione dunque di una calamita sul ferro si limita solo all'attrazione, mentre l'azione reciproca di due calamite mobili è distinta da una forza *ripulsiva* ed *attrattiva*, in virtù della quale il polo nord respinge il polo nord, ed il polo sud respinge il polo sud;

(1) Il minerale detto *magnette*, o *pietra di calamita*, trovasi nella natura, soprattutto ne'terreni antichi, con lo schisto micaceo, col serpentino ec. (Alpi, Tirolo, Piemonte), e qualche volta esso è in masse tanto grandi da formar montagne, come è quella del Talberg nella Smolanda, ec.

ma poichè il polo sud attira il polo nord e reciprocamente il nord il sud, debbon di conseguenza esservi in una colamita due forze magnetiche distinte, e direttamente opposte ne'loro effetti, ancorchè sembrassero simili nel modo della loro azione, da cui derivano poi i fenomeni di *attrazione e ripulsione magnetica*, cioè che quando si avvicina il polo simile ad un ago magnetico mobile, si vede questo respinto, ed è al contrario attirato ove se li avvicini il polo contrario di un altra calamita.

I fenomeni di attrazione e ripulsione magnetica si producono quando una spranghetta o ago calamitato è mobile sopra un perno acuto, o posto sopra un sughero che galleggi su l'acqua. Questa somiglianza di effetti con le attrazioni elettriche, ha fatto ammettere che vi sono due fluidi magnetici, come vi sono due fluidi elettrici; che ciascuno de' primi predomina in uno de' poli della calamita come ciascuno de' secondi predomina ne' poli di una pila elettrica in azione, e finalmente, che una calamita può considerarsi come una pila voltaica allo stato di tensione.

403. I fenomeni magnetici hanluogo fuori il punto di contatto, a distanza più o meno grande, secondo l'intensità magnetica della calamita, ed attraverso qualunque corpo sia o no conduttore dell' elettrico, purchè la sua spessezza non oltrepassi sensibilmente la distanza à cui una calamita può attirare il ferro, o avere opera sopra un altra calamita; perciò l'isolamento non è necessario, perchè una calamità conservi le sue proprietà magnetiche, non avendo alcun opera il contatto di un corpo qualunque alla dispersione del fluido magnetico; che anzi, se l'azione per *influenza* di una calamita su l' acciaro è debole, essa aumenta col contatto, e l'acciaro allora diviene esso stesso una calamita. Perciò osserviamo che una verga di acciaro calamitato che serve a calamitarne un altra, non perde alcuna porzione della sua intensità magnetica, e da questo fatto ha potuto conchiudersi, che durante il magnetizzamento dell'acciaro, la calamita adoperata non cede il suo magnetismo all'acciaro, ma essa separa in ciascuna sua molecole i due fluidi magnetici, i quali per la loro unione componevano il *fluido neutro* simulato nell'acciaro. I due fluidi separati manifestano questa proprietà anche sotto l'opera delle variazioni atmosferiche, cioè che i fluidi dello stesso nome si ripellono, e quelli di nome contrario si attraggono.

La resistenza che oppone l' acciaro e non il ferro dolce magnetizzati, alla separazione de'due fluidi, e dopo alla loro ricomposizione, si è detta *forza coercitiva*, la quale varia ne'diversi acciari, ed anche in uno stesso acciaro secondo il grado di tempera. Essa contribuisce alla permanenza delle calamite, perchè al contrario i due fluidi si ricomporrebbero nuovamente, e l'acciaro riprenderebbe lo stato suo naturale. Ma questo effetto

ha luogo nell'acciaro ed in alcune altre combinazioni di questo metallo, perchè nel ferro dolce la separazione e la ricomposizione de' fluidi succede facilmente, e perciò la forza coercitiva sul ferro è quasi nulla. Le calamite dunque permanenti, hanno tutte una *linea media*, cioè la *linea neutra*, e due *poli*. Questa linea debb' essere il punto in cui i due magnetismi si toccano, e dove in conseguenza la forza magnetica è in equilibrio, e perciò nulla. Si è ancora questo punto detto *punto di culminazione*, o *equatore magnetico*.

404. Si è detto, che cercando i poli di una calamita osservasi, che una calamita può qualche volta presentarne più di due. Si è dato il nome di *punti conseguenti* a questi altri poli *intermedii*, ma gli aghi magnetici che hanno più di due poli, non posson servire agli usi a cui son destinati, cioè alle ricerche relative al magnetismo terrestre. E poichè si è osservato, che in ogni ago o verghetta di acciaro calamitato, l'azione magnetica è nulla nel mezzo della sua lunghezza, deve dunque in questo punto esservi separazione de'due fluidi, è perciò deve la loro intensità aumentare a misura che si avvicinano alle estremità dell'ago, cioè ne' poli, ove è il massimo dell'energia della forza magnetica.

Calamite permanenti e temporanee—Corpi magnetici e diamagnetici.

405. Non solo il ferro ed alcuni suoi ossidi naturali hanno, o acquistano la proprietà magnetica, ma il nickel, il cobalto, il croma anche la sperimentano ad un grado sensibile. Prima si aveva conoscenza solo delle calamite naturali ed artificiali, ma dopo la scoperta dell' elettromagnetismo, col soccorso delle correnti elettriche delle pile, si è pervenuti, dirigendole attraverso una spirale di filo di rame coverto di seta avvolta sopra il ferro dolce, ad aver calamite di forza immensamente superiore alle precedenti. Perchè poi queste operano solo sotto l'*influenza* della corrente elettrica, la quale ove s'interrompa cessa l'effetto, si sono perciò dette *calamite temporanee*, o semplicemente *elettromagneti*.

I fisici fecero inutili tentativi a fin di scoprire tracce di magnetismo in altri corpi, ma Coulomb pervenne dopo una serie di reiterate sperienze a provare, che realmente tutt'i corpi possono mostrare proprietà magnetiche. Non pertanto l'osservazione di Coulomb non valse per imporne a'fisici de'suoi tempi, e si proseguì a ritener come assai ristretto il numero de'corpi che potevano divenir magnetici. Le sperienze poi fatte da Lebail-

lif (1) da Saigey (2) e da Seebeck (3), fecero prevedere che l'opinione di Coulomb poteva essere sostenuta.

Cosi sperienze assai delicate han provato, che tutt'i corpi sono più o meno suscettivi di magnetismo. Molte pietre preziose ne manifestano de'segni, ma siccome questa proprietà si possiede in ispecialità nel ferro, ed in molti suoi minerali, avendo i chimici dimostrato trovarsi il ferro in tutt'i corpi della natura, potrebbe esso, quando anche un metallo od altro corpo lo contenesse allo stato salino, metallico, o di ossido al minimum sino alla frazione della 130,000^{ma} parte, esser cagione de'fenomeni magnetici osservati in que'corpi, e non doverli in conseguenza crederli dotati di un magnetismo assoluta, ma relativo.

Magnetismo in movimento.

406. Esaminando Arago l'azione di un disco di rame posto in rotazione sotto un ago magnetico, provò che i metalli operano con più energia degli altri corpi. E pervenuto dipoi a diminuir l'ampiezza delle oscillazioni dell'ago magnetico, senza cambiarne il numero, trovò che l'azione del disco rotante sotto l'ago, decresceva, per la stessa velocità, a misura che diminuiva la distanza dell'ago dal disco. Analizzando poi meglio Arago questo fenomeno, a fin di determinar le direzioni delle forze svolte su i dischi nell'alto della rotazione, pervenne a trovar le componenti di queste forze secondo tre linee parallele a tre piani coordinati. Babbage e Daniel vi aggiunsero dopo, che ogni altro corpo, chi più, chi meno produce lo stesso effetto, e solo quando que' dischi sono frastagliati negli estremi, gli effetti divengono nulli o appena sensibili. Queste importanti sperienze furon dopo sempre più estese da Nobili, da Prevost e Collandon, da Herschell, da Barlow, da Cristie e da Faraday ec.

407. In queste sperienze, su l'ettricità in movimento, appena nell'apparecchio di Arago la rotazione del disco di rame sotto l'ago magnetico comincia, si vede questo deviar nel senso della rotazione, e se questa cambiasi in senzo contrario, comunque fosse divenuta assai rapida, nondimeno essa a poco a poco scema di energia sino a rotar nella nuova direzione. Nel disco frastagliato ciò non succede, perchè facendo girar questo a destra o a sinistra, l'ago resta come quasi immobile. In ogni caso

(1) Lebaillif. *Sur la répulsion des aiguilles aimantées par le bismuth et l'antimoine.* Bullettin Universel 1827.

(2) Saigéy. *Sur le magnetisme de certaines combinaisons naturelles du fer, et sur la répulsion mutuelle des corps en général.* Bullettin Universel, 1828. Vol. IX.

(3) Seebeck. *Sur la polarité magnetique de different metaux, alliages, et oxides* Ibid. 1828, vol. IX, p. 175.

la deviazione o rotazione dell'ago è prodotta da una forza perpendicolare a'raggi del disco rotante, e parallela al suo piano. Ma la rotazione de' dischi sviluppa ancora due altre forze, una cioè perpendicolare al piano del disco, l'altra in direzione dei raggi. Herschell e Babbage, han trovato gli effetti relativi degli altri metalli nell'ordine seguente:

Rame.	1,00	Zinco.	0,93
Stagno.	0,46	Antimonio	0,09
Piombo.	0,25	Bismuto	0,02

L'ago può sospendersi con un filo di seta e tenersi a poco distanza sul disco girante, ma nell'apparecchio di Arago l'ago è posto sopra un diaframma circolare di pergamena ben teso, e sotto, quasi al contatto con questo, vi è il disco posto sopra un asse verticale, che vien messo in rotazione col mezzo di una ruota dentata che ingrana col rocchetto fissato nell'asse. Poisson, guidato da teoriche affatto nuove sul magnetismo, col mezzo di un analisi rigorosa, pervenne non solo a spiegare i fenomeni del magnetismo in moto, ma a predirne altri assai più importanti, che l'esperienza non tardò dopo a confirmare.

408. Poisson ammise, che in ogni elemento magnetico, oltre la *forza coercitiva*, debba esservi una forza analoga alla *resistenza de' mezzi*, che ritarda il moto delle molecole de'due fluidi magnetismi. Quest'ultima forza, indipendentemente dalla prima, deve variar con la natura delle sostanze, con la loro temperatura, e particolar disposizione delle molecole di loro. Così quando un corpo è in riposo, esso è sospinto da un azione magnetica fissa, la quale aumenta la durata necessaria alla produzione dell'effetto che deve aver luogo, mentre che i fenomeni sviluppati dopo un certo tempo sono gli stessi come se questa forza non esistesse. Ma quando la forza magnetica cambia rapidamente di sito, o che il corpo è esso stesso in movimento, la resistenza allora che i fluidi magnetici patiscono nel loro spostamento, determina una disposizione molecolare che differisce da quella che avrebbe luogo se il corpo fosse immobile, e perciò ne risultano fenomeni affatto differenti, che Poisson pervenne a scoprire col soccorso della più rigorosa analisi matematica, e questi si trovaron dopo in perfetto accordo con l'esperienza.

409. Faraday sottoponendo i metalli, i suoi ossidi, ed altre loro combinazioni con gli acidi e con i corpi metalloidi, all'azione di potenti calamite, e dell'elettromagnete (calamita temporanea), ebbe con questi e con altri corpi ponderabili, risultamenti più generali e di maggiore importanza. Egli chiamò *diamagnetici*

que'che sono decisamente respinti da ambi i poli della calamita, i quali disposti nell'ordine della loro energia, sono: Bismuto—Antimonio—Zinco—Stagno—Cadmio —Mercurio—Argento—Rame — Oro — Piombo. La forza magnetica Faraday la valutò dal numero delle oscillazioni, che le varie verghette eguali di questi metalli compivano all'*equatoriale* magnetico. (1)

410. Era opinione de'fisici, che i metalli magnetici quand'erano assai riscaldati, perdevano le proprietà magnetiche ed entravano nella classe de'corpi ordinarii. Nobili, nel ripeter le sperienze di Arago su la rotazione de'dischi metallici sotto l'ago magnetico, aveva osservato, che comunque questi si riscaldino fortemente con una lampada ad alcool, nell'atto della loro rotazione, l'effetto non è punto scemato; ma Faraday dopo nuove indagini ha dimostrato, che quando anche si privi il ferro, il nickel, ed il cobalto della massima parte della virtù magnetica sotto l'azione di un alta temperatura, nondimeno essi ne ritengono sempre alcune vestigie, deboli si, ma tuttavia bastanti per non doverli confondere con altri metalli. Questo fatto indusse Faraday a riguardare erronea la prima sua opinione, quella cioè che tutt'i metalli sarebbero magnetici sotto un dato grado di freddo. Or se il ferro, il nickel ed il cobalto conservano ancora alcune tracce di magnetismo a temperature elevate, l'ipotesi del magnetismo de'metalli alle basse temperature, condurrebbe alla conseguenza, che questi corpi dovrebbero dar qualche vestigio di forza magnetica ordinaria alle temperature atmosferiche; ma si è veduto il contrario, perchè in vece di essere attratti da'poli del-

(1) Faraday in questo suo importantissimo lavoro, è stato indotto ad usare alcune nuove espressioni a fin di dinotar gli effetti delle calamite sopra i diversi corpi. Osservando egli due direzioni principali di posizione a traverso il campo magnetico, per evitar ogni perifrasi, chiama una di queste direzioni, cioè quella che va da un polo all'altro, *linea di forza magnetica o assiale*, *direzione assiale*, o semplicemente *assiale*, e l'altra che è perpendicolare al centro di questa, l'ha detta *direzione equatoriale*, o semplicemente *equatoriale*. Egli poi dice *linea di forza magnetica*, o *linea magnetica di forza*, o *curva magnetica*, l'effetto della forza magnetica che si esercita nelle linee comunemente dette *magnetiche curve*, e che esistono egualmente sia diriggendosi, sia allontanandosi da'poli magnetici, formando cerchi concentrici intorno una corrente elettrica. In fine, per *diamagnetici*, Faraday intende nn corpo a traverso il quale passano queste linee di forza magnetica, come l'acqua, il cristallo ec., e che per la loro azione non prende lo stato magnetico ordinario del ferro o della pietra calamita; vale a dire, siccome quando un ago magnetico si avvicina col polo contrario ad una calamita, vedesi, dopo varie oscillazioni, fermar nella linea de'suoi poli, cioè nella *linea assiale*, egli ha chiamato *magnetici* que' corpi che prendono questa direzione, e *diamagnetici* gli altri i quali dopo aver mostrato, come i primi, alquante oscillazioni intorno la linea equatoriale, si fermano stabilmente come in croce tra questa linea e l'assiale, cioè in una posizione normale all'assiale. Questi effetti, come dice lo stesso Faraday, i quali dipendono da forza attrattiva pe'*magnetici*, e da forza ripulsiva pe'*diamagnetici*, hanno aggiunto alla scienza un nuovo stato pel modo di essere de'corpi rispetto al magnetismo.

l'elettromagnete, alcuni di loro ne sono respinti. Gli effetti dunque prodotti dal riscaldamento de'corpi, pare che debbonsi considerar quasi nulli, solo in rapporto a'corpi in moto, cioè nella rotazione di loro sotto le calamite.

411. Esaminando Faraday gli ossidi de'metalli magnetici, trovò che erano più o meno attratti dalla calamita, ed anche riscaldati fortemente non perdono, o non diminuiscono menomamente la loro virtù magnetica. E passando ad esaminare il magnetismo delle altre combinazioni dello stesso metallo, trovò magnetiche tutte quelle ove il ferro vi entra come base; ma le più rimarcabili erano, i suoi due cloruri, il ioduro, i solfati ed i fosfati dei due suoi ossidi; il nitrato, carbonato e cianuro, o azzurro di Prussia. Fra i prodotti naturali poi, egli trovò magnetici principalmente il ferro ossidolato, l'ematite, il ferro cromicato, la pirite marziale, la pirite arsenicale (mispikel), le piriti di rame (di rame ferro solforato), ed alcuni altri solfuri ferruginosi.

412. Faraday trovò ancora, che le soluzioni de'sali di ferro e quelle del solfato di nickel, di cobalto, ed i cristalli purissimi de'due solfati, erano egualmente magnetiche, ed assai atte per le ulteriori ricerche sul magnetismo, potendosi con esse avere *calamite liquide*, *diafane*, e suscettive, entro certi limlti, di assumer diversi gradi di energia che possonsi facilmente calcolare e graduare esattamente. Riscaldando queste soluzioni, l'energia con cui esse vengono attratte dalla calamita, non è punto scemata; all'opposto operando sopra alcune combinazioni chimiche di altri metalli, queste non offrono il minimo segno di attrazione tra i poli del più poderoso elettromagnete; il perchè vennero queste sostanze metalliche divise in due classi opposte, per riguardo al magnetismo cioè in *magnetiche* quelle che sono attratte, e *diamagnetiche* quelle che sono respinte. (1)

(1) Ecco come Faraday operò su le *calamite liquide* o *diafane*, le cui sostanze che la compongono ha chiamate *diamagnetiche*: Egli sciolse dapprima 74 grani di protosolfato di ferro (vitriolo verde) in un oncia d'acqua, e poi divise la soluzione in tre parti eguali che pose in tre vasi separati. Lasciò la prima nello stato naturale, allungò la seconda con tre volte il suo volume di acqua, e la terza con 15. Stando le proporzioni del sale di ferro nelle tre soluzioni, approssimativamente come 16 : 14 : 1, egli da questi dati numerici dedusse le forze magnetiche de' tre liquori, che posson dinotarsi coi numeri 1, 2, 3. Poste queste soluzioni in tubi di vetro, sin che n'erano ripieni, dopo averli chiusi esattamente, li sospese orizzontalmente nel campo magnetico di un elettromagnete (calamita temporanea), e vide che si dirigevano su la linea de'poli con più o meno energia, secondo la densità del liquido che conteneva. Avendo dopo Faraday tenuti immersi que' tubi verticalmente nelle soluzioni ferruginose, ebbe fenomeni quanto curiosi altrettanto importanti. Così il tubo pieno della soluzione n.° 1, tuffato in un vaso pieno della medesima soluzione, perdeva la forza direttrice, e nelle altre due soluzioni, cioè n.° 2 e 3 dirigevasi su la linea de'poli, ma più energicamente nel n.° 3, che nel n.° 2. Il tubo pieno della soluzione n.° 2, posto nella soluzione n.° 1, era respinto, e passava nell'*equatoriale* (Si è

413. Faraday esplorando l' indole magnetica de' metalli nelle loro combinazioni, trovò che dirigevansi su la linea de'poli: l'ossido di titanio; il protossido, il cloruro, il solfato, l'ammonio-solfato, il fosfato, il borato ed il carbonato di manganese; il protossido-idrato, il cloruro, ed il carbonato di cerio; l' ossido cristallizzato di cromo e l'acido cromico; dal che ne dedusse, che il titanio, il manganese, il cerio, ed il cromo sono magnetici. Allo stesso modo operando, trovò anche *magnetici* il platino ed il palladio, e *diamagnetici*, cioè alla maniera del vetro e l'acqua, l'arsenico, l'iridio, il rodio, l'uranio, il tungsteno, l' argento, l'antimonio, il bismuto, il sodio, il magnesio, il calcio, lo strontio, il bario ed il potassio. Tanto le loro combinazioni, che gli stessi metalli isolati, ridotti in forma prismatica, si diressero sempre secondo l' equatoriale, e vennero respinti quando erano avvicinati all'uno de'poli. Ed in ultimo, avendo Faraday portati parecchi di questi metalli diamagnetici ad un altissima temperatura, sino anche a liquefarne alcuni, non ebbe verun cambiamento nella loro virtù magnetica. Egli così riunì i metalli *attrattivi*, cioè *magnetici*, ed i *ripulsivi*, cioè i *diamagnetici*, nell'ordine seguente:

Magnetici—Ferro=Nickel=Cobalto—Manganese—Cromo—Cerio—Titanio — Palladio — Platino — Osmio?

Diamagnetici — Bismuto — Antimonio — Zinco — Stagno — Cadmio—Sodio—Mercurio—Piombo—Argento—Rame—Oro—Arsenico—Uranio—Rodio—Iridio—Tungsteno.

414. Sperimentando dopo Faraday l'azione delle calamite su i fluidi elastici, adoperò una spranghetta di bismuto, ed un parallelepipedo di flint-glass, che sospese successivamente sotto un recipiente disposto sul campo magnetico dell'elettromagnete. Comunicando il recipiente con la macchina pneumatica, potè così osservar le oscillazioni nell' aria, negli altri gas, e nel vuoto, e trovò, che tanto l'aria, che l'idrogeno, l'acido carbonico, ed il vuoto, non apportavano alcuna modificazione nell' energia con cui tanto il bismuto che il vetro pesante (flint-glass) muo-

detto che Faraday chiama *assiale* la linea di forza magnetica che va da un polo all'altro della calamita, ed *equatoriale* la direzione perpendicolare a questa linea), come il vetro pesante (flint-glass) il bismuto, il fosforo ec.; quello pieno della soluzione n.° 2 diventa inerte, e si vulge verso i poli nella soluzione n.° 3. Finalmente il tubo n.° 3 si dispone secondo l' equatoriale nelle soluzioni n.° 1 e 2, e se ne stà indifferente nella soluzione n.° 3.

Ripetendo Faraday queste sperienze con altri liquori ferruginosi, fu condotto alla seguente conclusione generale, cioè, che la soluzione contenuta nel tubo si dirige secondo i poli della calamita quando è immersa nelle soluzioni più deboli; è indifferente nelle soluzioni di egual forza, ed assume la posizione equatoriale nelle soluzioni più concentrate. Così sospendendo i tubi verticalmente presso l' uno de' poli dell' elettromagnete, l' *attrazione* manifestasi costantemente nella soluzione più debole, l' *indifferenza* nella soluzione di eguale densità, e la *ripulsione* nella soluzione più concentrata.

vevansi oscillando lentamente nella loro posizione di equilibrio, normale su la linea de' poli. Questa indifferenza magnetica del fluido elastico si manifestò pure rispetto ad un cubo di bismuto invece della verghetta dello stesso metallo, che fu sempre respinto con la stessa forza tanto nel vuoto che nell'aria, nell'idrogeno, e nel gas carbonico a differenti gradi di rarefazione.

Adoperando dopo Faraday un tubo pieno di aria, chiuso esattamente, invece della spranghetta di bismuto, lo immerse successivamente nell'acqua, nell'alcool, nell' essenza di trementina ed anche nel mercurio, tenendovelo verticalmente nella direzione del filo di sospensione, con pesi attaccati di sotto, vide che il tubo di flint-glas non più oscillava intorno all'equatoriale, ma bensì intorno alla linea assiale (V. la nota al § 412), mostrando in tal guisa essere esso attratto da' poli della calamita, mentre prima le sue oscillazioni equatoriali dinotavano invece la ripulsione ne' detti poli. Questa osservazione sul tubo immerso nel liquido è assai importante, dappoichè dimostra potersi estendere alle sostanze diamagnetiche le relazioni che manifestavansi ne' corpi magnetici tra il mobile ed il fluido.

Coordinando i fatti esposti, si desume, che essi stabiliscono una nuova azione magnetica, o una nuova condizione della materia, la qual condizione si riduce ad una ripulsione del corpo sotto l'azione de' due poli della calamita. Per essa il mobile fugge sempre i luoghi di maggior forza magnetica, per portarsi in que' di forza minore, e corre pertanto lungo le linee magnetiche ordinarie o nella direzione normale a queste linee; per essa due porzioni di materia si avvicinano tra loro come se fossero attratte, o si allontanano come se fossero respinte; per essa infine, un corpo può essere respinto o attratto da ambi i poli della calamita, secondo la sua propria natura e quella del mezzo ambiente. Questa nuova condizione magnetica con l'antica, hanno tra loro la stessa relazione di contrapposto, come il positivo e il negativo elettrico, come le polarità contrarie delle calamite ed in ultimo, come le direzioni di forza elettrica e magnetica nell'elettromagnetismo. Ma i *fenomeni diamagnetici* sono di gran lunga più importanti, perchè essi imprimono una nuova direzione al carattere di dualismo già noto nella forza magnetica, ed estendono immensamente il campo d'azione di questa potenza; e poichè tutt'i corpi della natura sembrano ora soggetti al suo dominio, essa diventa universale, come le forze di gravitazione, di elettricità, e di affinità chimica. Dietro queste considerazioni, Faraday fu perciò indotto a dividere i corpi in due grandi classi, chè rispetto al magnetismo gli uni sono *magnetici*, gli altri *diamagnetici*. I caratteri di queste due classi sono talmente distinti, indipendentemente dal grado di energia, che dove que'appartenenti ad una di esse patiscono l'attrazione, que' dell'altra classe opposta pati-

scono la ripulsione, ed al contrario; e quando una spranga dei primi si dispone per un dato verso, quella de'secondi assume la direzione perpendicolare; ma deve osservarsi, che la nuova proprietà scoperta ne'corpi diamagnetici, è diametralmente opposta all'azione magnetica ordinaria, e perciò la teorica che voleva tutte le sostanze più o meno magnetiche alla maniera del ferro, diviene ora erronea (1).

Ipotesi con le quali si è cercato spiegare i fenomeni magnetici.

415. Epino e Franklin ammisero un sol fluido magnetico, il quale produceva i fenomeni quando era *condensato* o *rarefatto*, o comunque messo in moto dall'azione della calamita o dal globo, che tanto i due fisici che Gilbert riguardavano come una gran calamita. Coulomb stabilì dopo un altra ipotesi, che è quella ora più generalmente ritenuta, cioè che il fluido magnetico è composto di due fluidi distinti, l'uno chiamato *boreale* o *nord*, e l'altro *australe* o *sud*. Fintanto che i due fluidi stanno uniti, cioè nello stato naturale, essi costituiscono il fluido *neutro*, ed allora non si ha alcun fenomeno magnetico, ma se qualche cagione può operar la loro separazione, il corpo allora resta *magnetizzato*, e produce i fenomeni magnetici, i quali perchè in complesso si riducono all'*attrazione* ed alla *ripulsione*, Coulumb stabilì come legge generale, *che i fluidi simili si ripellono ed i contrarii si attraggono*. Perchè poi questa ipotesi è strettamente collegata con quella che ammette anche due *fluidi elettrici*, e questi son dinotati, il *vitreo* o *positivo* col segno +, ed il *resinoso* o *negativo* col segno—, essendosi adottati gli stessi segni per dinotar col più il *fluido boreale* o *nord*, e col meno il *fluido australe o sud*, per non confonderli, Berzelius vi ha aggiunto + M e—M per di-

(1) Melloni, nell'analizzar le tre memorie di Faraday, tra le tante importantissime osservazioni, fa notare, che l'uguaglianza della proprietà rotatoria artifiziale entro due corpi soggetti a' movimenti opposti di attrazione e ripulsione, non contradice punto la opinione da lui sostenuta, quella cioè che la cagione del primo effetto sia una pura conseguenza delle modificazioni prodotte sotto l'impero della forza magnetica, nell'equilibrio atomistico del mezzo diafano; dappoichè le azioni delle masse possono essere in apparenza affatto diverse dalle azioni molecolari, e nondimeno aver tuttavia una sola e medesima origine. Così i fenomeni della gravitazione, mostrano, che i corpi si attraggono tra loro; eppure studiando Epino profondamente le attrazioni e ripulsioni magnetiche, trovava, che le molecole della materia ponderabile sono in uno stato di continua ripulsione, e Mossotti dimostrava che queste due azioni contrarie provengono dalla medesima forza. V, l'Analisi delle tre memorie di Faraday recentemente pubblicate con importantissime annotazione di Melloni, intorno alle stimate *Azioni delle calamite e delle correnti elettriche su la luce polarizzata, e su la massima parte de' corpi ponderabili*, che Melloni a ragione crede che Faraday doveva invece intitolare: *Rotazione del piano di polarizzazione di un raggio di luce entro i mezzi diafani sottoposti alla forza magnetica.*

notar que'del fluido magnetico, ritenendo poi che il *nord* corrisponde al fluido *positivo* o *vitreo*, ed il *sud* al fluido *negativo* o *resinoso*.

Con questa ipotesi si ammettono dunque due fluidi distinti, assai sottili, le cui molecole dell'uno attirano quelle dell'altro, ed al contrario le molecole dello stesso fluido si respingono reciprocamente. Combinati poi insieme i due fluidi costituiscono il *fluido neutro*, vale a dire che esso non opera più nè per attrazione nè per ripulsione, essendo le azioni eguali ed opposte. Quando svolgesi il magnetismo con un mezzo qualunque, allora i due fluidi si separano, e questa separazione succede in ciascuna particella del corpo magnetico, e non da una particella ad un altra, ricomponendosi poi il magnetismo, combinando i due fluidi precedentemente separati. Nel ferro dolce la separazione e ricomposizione de'due fluidi succede facilmente, ma con più difficoltà può questa operarsi in alcune combinazioni del ferro con l'ossigeno, col solfo, col carbonio ec.; e perciò nell'acciaro, in cui il ferro è combinato al carbonio, ciò riesce sempre più difficile aversi.

Questa *resistenza*, che l'acciaro presenta tanto nella separazione che nella ricomposizione de'due fluidi, e che risiede nella sua sostanza, è quella che si è detta *forza coercitiva*. Essa spiega la permanenza degli effetti magnetici nelle calamite naturali, ed artificiali, le quali perciò differiscono dalle *calamite temporanee*, o *elettromagneti*, perchè nelle ultime questa forza è quasi nulla, e senza della sua opera i due fluidi si ricomporrebbero poco dopo separati. Le prime calamite dunque si sono perciò dette *permanenti*, e le seconde *temporanee*, perchè le ultime son tali solo quando si trovano sotto l'azione della corrente elettrica, e cessano di produrre gli effetti magnetici quando s'interrompe il circuito elettrico.

416. Alcuni fisici, come Fusinieri, opina che i due fluidi magnetici sono semplici forze molecolari che hanno opposte direzioni, che manifestansi con trasporti, o correnti di materia ponderabile. La generalità degli altri sostiene poi che le azioni magnetiche possono ripetersi da un fluido particolare, il quale differisce nel modo di operare della gravità, dappoichè non è come questa, una qualità essenziale della materia ponderabile. Così essendo l'ossigeno nelle calamite naturali, ed il carbonio in quelle artificiali, uniti al ferro, alcuno di questi elementi non avendo la proprietà permanente di esercitare azioni simili alle azioni magnetiche, è poco probabile che le loro molecole nel combinarsi acquistino queste proprietà; dappoichè nelle materie ponderabili non osservasi mai che la forma, o la disposizione delle molecole dà origine ad alcuna nuova forza che possa operare a distanze sensibili. Osservasi ancora, che le forze inerenti alla materia

ponderabile possono facilmente accrescersi, diminuirsi, o modificarsi in infiniti modi, senza che si pervenga mai a distruggerle; mentre al contrario nelle calamite la forza magnetica può a volontà distruggersi e riprodursi agevolmente. Così quando si arroventa una calamita e si lascia raffreddare, si vedrà che essa non perde alcuna porzione de'suoi elementi, e non pertanto le sue qualità magnetiche sono distrutte, perchè dopo non più manifesta alcuna azione sul ferro. Queste considerazioni, abbastanza gravi, han fatto considerare il magnetico come un fluido particolare, il quale solo perchè opera come l'ellettrico, si è considerato identico con questo. Perchè poi si sono in esso sperimentate due forze magnetiche opposte, si è dedotto che deve esso comporsi di due fluidi opposti, l'uno che *predomina* in un polo, l'altro che *predomina* nell'altro polo. In tutte le calamite, i poli dello stesso nome, cioè *australe o boreale* hanno lo stesso fluido predominante, e come essi si respingono, si conchiude che ciascun fluido simile si respinge esso stesso. I poli poi de' nomi contrarii, cioè boreale ed australe, hanno due fluidi differenti, e perchè si attirano, si conchiude che l'uno attira l'altro. Questi risultamenti definitivi provano, che nel ferro e negli altri corpi magnetici vi sono due fluidi magnetici distinti, di cui quello dello stesso nome si respinge, ed attira l'altro di nome differente. Ed in ultimo, l'azione che si esercita sul ferro sembra non operar su le sue molecole materiali, ma sul fluido magnetico interposto negli spazii intermolecolari dello stesso metallo.

Siccome si è detto che una sostanza *magnetica* differisce da quella *magnetizzata*, o dalla calamita naturale, per distinguer la prima dalla seconda, vi si perviene facilmente avvicinandole successivamente a' poli di un ago magnetico. Se è attirata da' due poli, come il ferro, è magnetica, se è attirata da uno e respinta dall'altro è magnetizzata, o magnete. Questa sperienza conduce ancora a trovare il polo di una calamita qualunque, servendosi del polo conosciuto di un altra calamita. Così p. e. quando presentasi il polo nord all'estremità della calamita mobile, i cui poli non sono noti, se questa estremità viene respinta, il polo sarà anche *nord*, ed al contrario sarà il polo *sud* ove venisse attratta.

Leggi delle azioni magnetiche.

417. Lambert, in una memoria diretta all'Accademia di Berlino, dopo alcune sue sperienze, e quelle di Muschenbroch, aveva supposta un intensità reciproca al quadrato della distanza, per dare ragione de' fenomeni magnetici. Coulomb, dopo una serie di sperienze dirette, confirmò l'ipotesi precedente, dimostrando che la legge a cui dovevano sottoporsi le azioni magnetiche, seguiva appunto la ragione inversa del quadrato della

distanza. Adoperando egli un piccol ago magnetico il quale, stando prima lontano 108 millimetri dal centro di azione di un filo di acciaro calamitato, lungo 68 centimetri, fece 41 oscillazioni in un minuto, e postolo dopo al doppio della sua distanza, ne fece 24 nello stesso intervallo di tempo. Or le forze che fanno oscillare un ago, essendo proporzionali a'quadrati de'numeri delle oscillazioni, debbono di conseguenza le forze trovarsi nel rapporto de' quadrati degli stessi numeri 41, e 24, cioè, come 1681 a 576. Ma per aver l' azione assoluta dell' ago faceva duopo sottrarne quella del globo, e perciò Coulomb, osservando che quando l'ago era lasciato alla sola azione del globo faceva 15 oscillazioni in un minuto, il cui quadrato è 225, sottraendo questo numero da'due precedenti, cioè da 1681, e 576, restò, per l' azione delle spranchette calamitate, poste alle distanze 1 e 2, il rapporto 1456 a 351, che poco differisce da 4 ad 1; il che prova, che ad una distanza doppia, l'intensità magnetica è ridotta ad $\frac{1}{4}$, e perciò ripetendo l'esperienza ad altre distanze, si troverà la stessa legge di decrescimento nelle azioni magnetiche.

Calamite naturali, artificiali, e temporanee.

418. Le calamite conosciute erano *naturali* ed *artifiziali*, ma ora mercè le correnti voltaiche si son fatte calamite di forza assai maggiore, le quali perchè operano solo quando sono sotto l'azione della corrente elettrica, per distinguerle dalle precedenti si son dette *calamite temporanee*, o *elettromagneti*.

Calamite naturali o *magnete* — Si trovano nella natura, e sono una varietà di ferro ossidolato detto *magnete*, che si crede composto di protossido e deutossido di ferro, in cui l' ossigeno del primo è un terzo dell'ossigeno del secondo. Questa proprietà la manifestano ancora, quantunque meno sensibilmente, alcune varietà di ferro solforato, come quella detta ferro solforato magnetico; di ferro ologisto, di ferro cromato, alcune battiture di ferro, alcune ghise e grafite ec. Quanto a'minerali, si crede che essi debbano il magnetismo al loro soggiorno nell' interno del globo, ove si son trovati nelle condizioni favorevoli, cioè posti in certo modo ordinati, per rapporto all' asse della terra, al che dà appoggio l'osservazione, che gli altri minerali di ferro che hanno la stessa composizione non sono egualmente magnetici. Si conosce quando questi minerali sono tali, mettendoli a contatto con la limatura di ferro per veder se ne alzano un poco ec.

419. *Calamite artificiali*. Son fatte con l' acciaro, perchè ha maggior forza coercitiva del ferro, la quale fa conservar le proprietà magnetiche che vi si sono sviluppate. Il ferro, come ha osservato Gay-Lussac, può ricever questa forza coercitiva com-

binandolo a piccole quantità di solfo, di arsenico, ovvero di fosforo, ed aversi anche calamite durevoli, ma l'acciaro, combinazione di ferro e carbonio, e quello che la possiede ad un grado maggiore. Nondimeno questa forza coercitiva nell' acciaro può variar col grado di tempra, perchè una tempra assai forte si opporrebbe alla sua magnetizzazione. Quella che meglio conviene è, quando l' acciaro è riscaldato sino al rosso scuro, ma questa forza è distrutta col toglierli la tempra, riscaldandolo al rosso scuro e lasciandolo raffreddar lentamente. Che se ciò praticasi sopra una spranghetta di acciaro calamitato, facendola raffreddar nella posizione perpendicolare al meridiano magnetico, essa perde ogni proprietà magnetica; il che prova, che distrutta così la forza coercitiva nell'acciaro, i due fluidi si sono nuovamente combinati, come succede nel ferro, il quale calamitato perde poco dopo le proprietà magnetiche, per essere in esso la forza coercitiva appena sensibile.

420. *Calamite temporanee o temporarie.* Si son dette anche *elettromagneti*, perchè mostrano le proprietà magnetiche solo quando sono sotto l' opera della corrente voltaica, al che va dovuto il nome di *temporanee*, cioè *non permanenti*, essendo le altre tanto naturali che artificiali calamite *permanenti*.

Metodi per calamitare.

421. I metodi più generali adottati per far calamite artificiali permanenti, sono due, cioè pel *semplice strisciamento* o pel *doppio strisciamento* di una calamita sia naturale che artificiale su le verghe, aghi, o lamine di acciaro che vogliono calamitarsi.

Era prima opinione che nel calamitare l'acciaro, questo ricevesse il magnetismo dalla calamita che si adoperava; ma osservatosi che comunque una calamita avesse servito a farne molte altre, ed anche di maggior forza, non scemava punto nella sua tensione magnetica, egli era naturale che la prima ipotesi non poteva sostenersi. La idea di un influenza del magnetismo del globo si presentò subito dopo alla mente de' fisici, ma avendo scoperto Gassendi che l' estremità della croce del campanile di Saint-Jean d'Aix nella Provenza, e quella del campanile della Certosa erano magnetizzate, fece dedurne che ciò fosse avvenuto per opera della elettricità atmosferica. Posteriormente venne scoperto, che questi effetti possono aversi anche per mezzo dell'urto, della pressione, del ritorcimento e di altri mezzi meccanici, e soprattutto dalle scariche elettriche, dalle correnti voltaiche, ec., e fu perciò ritenuto, che i due fluidi magnetici esistono nel ferro e negli altri corpi come i due fluidi elettrici nel

vetro, nelle resine ec. allo stato simulato, cioè di combinazione, e che i mezzi adoperati, o le stesse calamite, non hanno altra opera che la separazione de' due magnetismi, e la loro concentrazione ne' poli della calamita che ne risulta; il che bastò per dare ragione dell'anomalia prima osservata. (1)

422. *Metodo del semplice strisciamento* —Può comunicarsi una forza magnetica ad una spranga di acciaro, temperata al rosso scuro, poggiandovi nel mezzo della sua lunghezza uno de'poli di una calamita sia naturale che artificiale, strisciandolo leggiermente su la superficie sino alla estremità, alzandolo dopo sollecitamente e riportandolo nel mezzo, ripetendo allo stesso modo successivamente lo strisciamento per un numero di volte più o meno grande, tenendo il polo che non striscia della calamita sempre inclinato su la spranga in modo che faccia con la sua superficie un angolo di 10 a 12 gradi. Si ripete l' operazione per un egual numero di volte con l'altro polo andando dallo stesso punto di mezzo all' altra estremità, tenendolo anche in alto, inclinato di 10 a 12 gradi. Finita così l' operazione si avrà, che dal lato ove si è strisciato col polo nord si troverà il polo sud, e da quello in cui si è strisciato col polo sud si troverà il polo nord, cioè i poli ottenuti saranno contrarii di quelli adoperati.

Può questa operazione farsi anche poggiando uno de' poli di una forte calamita verso l'estremità della verga o ago, o lamina che vuol calamitarsi, strisciandola, come nell'altro metodo, sino all'estremità, alzandola subito per portarla nel punto di prima, ricominciando l'operazione per ripeterla allo stesso modo per un dato numero di volte (50 o 200). Se il polo era il nord, si troverà in quella estremità il polo contrario, cioè il sud. L'effetto sarà maggiore adoperando calamite artificiali a fascio, cioè a più spranche calamitate, che con semplici calamite; e può strisciarsi il polo della calamita che si tiene con la mano, ovvero strisciar l'acciaro allo stesso modo sul polo della calamita, perchè l'effetto sarà lo stesso. Per le calamite a ferro di cavallo, si pog-

(1) È avvenuto sovvente che la caduta del fulmine sopra un naviglio ha invertito i poli dell'ago della bussola. Le punte de' parafulmini si trovano quasi generalmente magnetizzate, ma soprattutto riesce difficile talvolta trovar gli aghi assai piccoli da cucire che non siano magnetizzati. Lo stesso osservasi appianando col martello un filo di ferro di 2 a 3 linee di diametro, piegandolo e ritorcendolo dopo sino che si rompa, perchè si troverà così calamitato sensibilmente. Medesimamente percuotendo nella estremità superiore una verghetta di ferro duro, lunga 2 a 3 piedi, tenuta verticalmente, con leggieri colpi di martello, rovesciandola dopo, se percuotesi allo stesso modo l'altra estremità, il magnetismo svolto verrà a poco a poco distrutto, la verga avrà dopo il magnetismo contrario, ed i suoi poli si troveranno invertiti. Gli strumenti aguzzati, come forbici, coltelli, aghi ec. si trovano quasi sempre più o meno magnetizzati, il che conferma quanto sopra si è esposto.

gian contemporaneamente i due poli di una calamita naturale o artificiale in alto della sua curva, portandoli avanti sino alle due estremità, alzandoli subito, e ripetendo lo strisciamento come nell'antecedente modo però tenendo la calamita sempre allo stesso grado d'inclinazione.

423. *Metodo del doppio strisciamento*. Questo metodo, detto del *doppio contatto*, è dovuto a Mitchel, e consiste nel disporre i due poli contrarii di due forti calamite nel mezzo della spranga o ago di acciaro che vuol calamitarsi, tenendoveli distanti di poche linee; si fanno dopo strisciare, ciascun polo, su la superficie della spranga di acciaro, temperata al calore rosso scuro, in senso inverso sino alle estremità, si alzano subito dopo perpendicolarmente, portandoli così alternativamente dal punto di mezzo all'estremità per un dato numero di volte (da 50 a 200), ed in ultimo, quando i poli delle due calamite si son portati nel mezzo della spranga già calamitata, si alzano perpendicolarmente subito dopo. Con questa operazione si perviene a metter ciascuna estremità dell'ago o della spranga in un magnetismo contrario a quello del polo strisciante. Epino trovò più utile tenere le spranghe magnetizzanti inclinate sotto un angolo di 15 a 20 gradi, ma si osservò dopo, che questo metodo aveva l'inconveniente di far nascere nelle spranghe così magnetizzate de' punti *conseguenti*, la cui azione era contraria all'azione principale dei poli estremi. La figura qui sotto rappresenta le due spranghe



calamitate $a\,a'$, e quella da calamitarsi $n\,n'$, col grado d'inclinazione delle prime alla seconda. Per aver maggiore effetto, le due estremità di questa si fan poggiare sopra due lamine di ferro dolce, o su i poli contrarii di due altre spranghe calamitate, come veggonsi segnate nella stessa figura sotto le estremità $n\,n'$, e così si perviene a magnetizzar fortemente grosse spranghe di acciaro con deboli calamite. Nella figura in vece di semplici calamite si veggono segnati fasci di lamine calamitate, che hanno maggior forza magnetizzante. Nel metodo di Epino, questi debbono portarsi insieme co' poli simili, lontani 5 a 6 linee dal mezzo della spranga verso uno degli estremi, ed indi verso l'altro, col farli percorrere tutta la sua lunghezza con moto di *va e viene*, badando primieramente di finir nel mezzo della sbarra e di giugnervi secondariamente venendo dalla sinistra parte se li strisciamenti si sono cominciati dalla destra, o al contrario.

Coulomb cercò togliere il difetto accennato nel metodo di Epino, cioè lo sviluppo contemporaneamente de' punti conseguenti. Egli adoperò, per le magneti a fascio, dieci lamine di acciaro temperate al calore rosso ciliegio, che erano 5 a 6 decimetri lunghe, 15 millimetri larghe e 5 di spessezza, calamitate prima col metodo indicato del doppio strisciamento, unendole dopo pe'poli simili 5 a 5, con piccoli anelli o rettangoli di ferro dolce, come si veggono nella figura descritta.

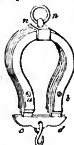
Duhamel nel 1751, per mezzo del *contatto*, o *strisciamento separato*, magnetizzò compiutamente gli aghi di bussola e le lamine di acciaro che non eccedevano 4 a 5 millimetri di spessezza, adoperando similmente calamite a fasci. Le due spranghe striscianti si mettono nel mezzo della lunghezza dell'ago, o della lamina che vuol calamitarsi, inclinate di 25 a 30 gradi, tenendone una con la mano sinistra e l'altra con la destra, si separano subito, si fanno strisciare sotto questa inclinazione con moto lento sino all'estremità, come nel metodo di Mitchel, tenendole sempre allo stesso grado d'inclinazione; si alzano dopo sollecitamente, e si riportano nel mezzo, ripetendo l'operazione per un dato numero di volte, il quale sarà così eguale dall'una e dall'altra metà dell'ago o della spranga che vuol calamitarsi. Tanto in questo che negli altri metodi descritti, si deve sempre badare a non portare indietro i poli della calamita, quando sono giunti all'estremità dell'ago o della spranga che vuol magnetizzarsi, perchè allora l'effetto sarebbe nullo, e perciò debbono subito alzarsi per metterli nel mezzo, e da ivi ripeter l'operazione sempre allo stesso modo di prima. Quando poi le lamine hanno maggiore spessezza, si preferisce il metodo di Epino.

Il fisico Inglese Knight aveva fin dal 1745 anche adoperato due calamite per magnetizzare le spranghe di acciaro, il cui metodo tenne per lungo tempo secreto. Ma si seppe dipoi che egli univa con forte pressione i due poli contrarii delle due calamite, poggiava, sopra queste grosse calamite nel senso della loro lunghezza, la spranga di acciaro temperata al rosso ciliegio, che voleva calamitare, in modo che il mezzo di questa corrispondesse al punto di congiunzione de'poli avvicinati delle due calamite; allora egli separava questi, e li faceva strisciare nel senso contrario sino alle estremità della spranga di acciaro, li alzava dopo, li portava nella posizione di prima, e ripeteva l'operazione come negli altri metodi descritti.

Siccome il ferro dolce, su cui si poggiano gli estremi delle spranghe che si vogliono calamitare, ha la proprietà di svolgere il magnetismo pel solo contatto con le calamite, il suo uso ha per oggetto di attirare e mantener nelle spranghe d'acciaro sottoposte all'eperienza, i due fluidi magnetici separati ed accumulati alle loro estremità. Che se poi si adoperino calamite invece

di ferro dolce, come ausiliarie, bisogna disporle prima nelle posizioni rispettive, cioè con i poli contrarii a quelli della spranga già calamitata.

424. Si uniscono sovente più spranghe calamitate in un fascio, situandole insieme con i poli simili, e si dà comunemente a queste calamite artificiali isolate, o unite in fascio, la forma di



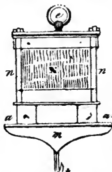
ferro da cavallo, come vedesi nella figura di lato. Nell'alto in *n* vi è un anello di ottone o di ferro dolce, e nel basso in *a b* due viti, o altro anello per tenerle congiunte. Le lamine di mezzo debbono sorpassare in lunghezza di qualche linea quelle degli estremi. Il pezzo *c d* è di ferro dolce e dicesi *ancora* o *portante*, nel cui estremo si sospendono i pesi che può sostener la calamita, per determinarne o conoscerne la sua forza magnetica. L'ancora ha in generale il terzo di spessezza della calamita, ed è leggiermente convessa su la superficie che mettesi in contatto co' due poli, affinchè li tocchi solo per una linea. Le calamite ben fatte sostengono sino a 20 volte il loro peso, e ve ne ha di quelle che possono caricarsi sino a 40 chilogrammi.

Le calamite presentano un fenomeno assai rimarcabile, che si è detto *debolezza* che provano quando si *caricano* di pesi. Così, se essa dapprima può sostenere un peso di 20 chilogrammi, aggiugnendovene a poco a poco altro in ciascun giorno, potrà questo portarsi da 30 sino a 40 chilogrammi. Ma non appena questo se ne distacca, sia per l'eccesso del peso, che con la mano, si vedrà, che la calamita non può più sostenerlo un altra volta. Se però si torni a presentarli un dato peso che può tenere, cioè minore di quello della prima carica, potrà un altra volta a poco a poco, come si è fatto antecedentemente, pervenirsi a farli sostenere il peso maggiore.

Haldat ha provato che quando sopra una lamina di acciaro di 3 a 4 decimetri quadrati, e di 2 a 3 millim. di spessezza si segnino con una forte calamita delle figure a volontà, potranno queste distinguersi spargendovi sopra con uno staccio la fina limatura di ferro su la superficie calamitata. Queste figure sono assai più visibili su le lamine stagnate, e posson farsi disparire riscaldandole sino alla fusione dello stagno (*Ann. de phys. et de chim.* t. XLII, p. 33).

425. *Armature delle calamite.*—L'esperienza ha dimostrato, che le calamite naturali quando son poste nella direzione de'loro poli in contatto di una spranghetta di ferro dolce, aumentano di forza, questa disposizione si è detta *armatura*, e la calamita allora si dice *armata*. La prima osservazione fu fatta sopra un pezzo di calamita naturale che erasi tenuto per qualche tempo in mez-

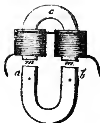
zo la limatura di ferro; e polchè in questo modo quella calamita aveva acquistata maggior forza attraente, nacque l'idea delle armature. La figura di lato mostra una calamita naturale armata. Nel mezzo stà la pietra di calamita N, e su le due facce laterali vi sono aggiustate in contatto le due spranghe rettangolari di ferro dolce *nn'*, le quali divenendo esse stesse calamite per influenza, ne aumentano col tempo l'energia. Gli estremi *a a'* delle spranghe sono più lunghi, perchè rappresentano i due poli della calamita. Nell'alto vi è l'anello *e* per sospenderla, ed a'poli vi è, come nella calamita artificiale descritta, l'ancora o il portànte di ferro dolce *m* per sospendervi in *t* i pesi, ed aumentarne la energia. In una calamita armata, ciascuno de'suoi poli opera su le spranghe adjacenti, in modo da attirare il fluido di nome contrario, e respingere nell'estremità che ne segna il polo il fluido dello stesso nome; dal che risulta, dover ciascuna estremità delle due spranghe acquistare il magnetismo del polo che l'armatura tocca; e dall'altra parte, il fluido acquistato dall'armatura deve operare su la calamita. Da siffatta combinazione di azioni reciproche, si fa derivar la proprietà che hanno le armature di aumentar la potenza tanto della calamita naturale che artificiale.



426. *Calamite temporanee* o *temporarie*. Si sono dette anche *elettromagneti*, perchè fatte con l'azione delle correnti elettriche in un circuito chiuso. Tra i mezzi ora più possenti che si conoscono per separare i due fluidi magnetici nel ferro, è fuori dubio l'elettricità. La scoperta di questa nuova azione ha dato origine all'elettro-magnetismo; quella poi che l'elettricità voltaica esercita sopra un ago magnetico è non solo simile all'azione reciproca di due calamite, ma la sua *influenza*, rispetto alla produzione del magnetismo *temporaneo* nel ferro e nell'acciaro, è parimenti la stessa dell'influenza magnetica. La voce *influenza*, applicata alle correnti elettriche, esprime la potenza che esse hanno di comunicare a'corpi naturalmente neutri o indifferenti, postivi a poca distanza, un certo stato particolare. Così, conosciutosi che quando un filo conduttore unisce i due poli di una pila voltaica, acquista la proprietà di attirar la limatura di ferro, e tenervela aderente sino che dura la circolazione della corrente elettrica da un polo all'altro, venne sperimentata siffatta proprietà per aver calamite di maggior forza di quelle conosciute. Ma perchè gli effetti di questa influenza succedono solo quando la calamita sotto l'azione della corrente voltaica, e cessano appena se ne in-

terrompe il circuito, si dissero perciò *temporanee*, ed *elettromagneti* perchè prodotte dietro l'opera dell'elettrico.

Si perviene a fare calamite temporanee di grande potenza magnetica, curvando in forma di ferro di cavallo un cilindro assai grosso di ferro dolce, su cui applicasi un filo di rame coverto di seta, che vi si avvolge in piu giri l'uno sopra l'altro, lasciando in basso, vicino le sue estremità, i due capi del filo liberi, per unirli a quelli de'due poli di una energica pila voltaica di quantità, cioè a grandi elementi, o ad elementi circolari.

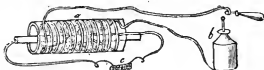


Così come vedesi nella figura qui annessa, *c*, *m m* rappresenta la calamita temporanea col filo di rame avvolto; *m m* i suoi poli, ed *a b* quelli dell'ancora di ferro dolce che diviene essa stessa calamita. I due fili estremi della calamita temporanea, vicino i poli *mm*, si mettono in contatto con i poli della pila, e non appena il circuito è chiuso, la calamita è già fatta, e può all'ancora sospendervisi i pesi che può sostenere. Che se distaccasi uno de' fili del polo della pila, rotto così il circuito, la corrente elettrica è essa stessa interrotta, e la calamita allora perde ogni attività magnetica, che riprende subito quando si chiude un altra volta il circuito come prima. Henry (*the Albany Academy aux Etats-Unis*) fece in questo modo una calamita temporanea che poteva sostenere un peso di una tonnellata di mare, cioè 2000 libbre o 1000 chilogrammi. Allo stesso modo Moll ad Utrecht, fece una calamita temporanea che poteva sostenere un peso di 200 libbre, adoperando un solo elemento voltaico fatto con una lamina di rame ed un altra di zinco saldati insieme, che avevano meno di un mezzo pollice quadrato. E quando si ebbero effetti così straordinarii col mezzo delle correnti elettriche, si fu a ragione sorpresi come un agente emesso da un sì piccolo apparecchio veltaico potesse indurre in una massa di ferro così grande una potenza magnetica tanto energica. Col mezzo dell'influenza elettrica gli aghi di acciaro possono anche acquistare un magnetismo permanente, e l'effetto è prodotto in un istante. La natura de' poli dipende dalla direzione della corrente, e la loro energia è proporzionale alla quantità di elettricità svolta dall'apparecchio voltaico.

427. Non solo le correnti voltaiche inducono un magnetismo nell'acciaro o nel ferro dolce, ma anche le scariche elettriche di una bottiglia di leida. Frankil ed altri fisici calamitavano i fili di acciaro col mezzo delle scariche delle batterie elettriche ordinarie; ma poichè essi avevano maggiori effetti quando i fili eran posti nel meridiano magnetico che quando vi erano posti

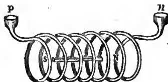
in una posizione normale, fecero derivarne l'effetto principale dall'azione del magnetismo terrestre. Arago con una corrente di elettricità interrotta pervenne a dare agli aghi di acciaro un magnetismo ben determinato.

La figura qui sotto dinota l'apparecchio ad elica di Marianini, col quale fatta la comunicazione, con uno de'suoi capi, con la fac-



cia esterna della boccia *b*, si abbassa l'altro attaccato ad un bastone di vetro su la pallina del conduttore della boccia. Nel mezzo dell'elica vi è una verghetta di ferro dolce, ne'cui estremi è fissato un filo metallico che porta in C un altr'elica assai piccola, nel cui interno si mette l'ago di acciaro. Scaricando la elettricità contenuta nella boccia *b*, col toccare il suo conduttore esterno con la estremità dell'elica che li è prossima, il circuito sarà così anche momentaneamente compiuto, ma bastante perchè l'ago si trovi dopo magnetizzato per opera del magnetismo temporaneo indotto nella verghetta di ferro dolce.

428. Nel giornale inglese il *Philosophical Magazine*, trovasi un articolo estratto dagli *Annali* di Poggendorf, in cui rapportasi un altro metodo di Elias di Harlem per calamitar l'acciaro con le correnti elettriche, il quale non differisce sensibilmente dall'apparecchio immaginato da Ritchie, del quale la figura qui sotto ne dinota il suo semplice congegnamento.



Esso consiste nel far passare la spranghetta di acciaro N S entro una spirale cilindrica alquanto bassa, quando i poli della pila si son posti in contatto con le estremità N P della spirale, in cui possono fissarsi due capsolette per mettervi il mercurio, per meglio stabilir la comunicazione della corrente elettrica attraverso l'elica. Mentre per l'elica passa la corrente di una energica pila, portando avanti e dietro la spranghetta N S, ed inter-

rompendo la corrente quando la sua parte media trovasi nell'elica, si avrà la spranghetta calamitata.

Con questa sperienza Ritchie dimostrava, che quando nella capsoletta P vi comunica il filo positivo della pila voltaica, e nella capsoletta *n* il filo negativo, essendo così compiuto il circuito pel il mercurio che stabilisce la comunicazione tra la pila e l'elica, l'elettricità dell'una verrà trasmessa all'altra. Introducendo dopo la spranghetta di acciaro calamitato N S nell'interno, si vedrà, che sin tanto che l'elettricità circola per l'elica, la spranghetta vi resta sospesa per opera dell'influenza di questa forza invisibile, e cade appena s'interrompe la corrente, togliendo il filo che comunica col mercurio. Si vedrà così, che il polo sud S dalla spranghetta è volto sempre verso il filo positivo della pila che è in P, ed il polo nord N verso il filo negativo che è in *n*. Or poichè l'effetto della forza elettromagnetica svolta da ciascun giro del filo metallico, consiste a dirigere il polo nord della calamita in un senso, ed il polo sud nell'altro, ne segue, che quando la corrente elettrica circola nell'elica, essa possiede tutte le proprietà della calamita, e perciò può esserle sostituita in molte sperienze. Essa opera come se una dell'estremità dell'elica fosse il polo nord, l'altra il polo sud; ed è per questo attirata e respinta da' poli contrarii e simili di una calamita, come se le due estremità dell'elica fossero esse stesse quelle di un ago magnetico. Gli effetti poi dipendono dalla direzione della corrente elettrica, vale a dire dalla direzione de'giri del filo nell'elica, secondo che è volto da destra a sinistra, ovvero da sinistra a destra, perchè essi trovinsi sempre in condizioni diametralmente opposte.

429. Il megnetismo dunque può, come l'elettrico, svolgersi per *contatto* e per *influenza*, cioè a distanza più o meno sensibile. La percossa, lo strisciamento, le scariche elettriche, le correnti voltaiche, il confricamento, per aguzzare gli strumenti di acciaro, il ritorcimento, ed in ultimo l'azione della terra, possono determinare lo svolgimento de'poli nelle sostanze. Avvicinando due calamite con i poli contrari, essi distruggonsi mutuamente, perchè l'attrazione dell'uno è eguale alla ripolsione dell'altro. Così quando sotto l'estremità di una spranga calamitata di acciaro vi si è fatto attirare un pezzo di ferro dolce, questo divenuto magnetico per influenza, può sino ad un certo limite, attirarne un secondo, poi un terzo ec., e tenerli sospesi. Se allora mettesi sopra quella estremità il polo contrario di altra calamita, si vedranno subito cader que'pezzi di ferro attratti. La distruzione mutua o neutralizzazione dunque de'due poli contrarii, facendo perder la polarità acquistata nel ferro dolce, per l'influenza del magnetismo nella spranga magnetizzata che li teneva attirati, è cagioni del fenomeno osservato.

430. L'*azione magnetica per influsso o influenza* meglio sperimentasi con due pendoli paralleli di ferro dolce sospesi ad un filo di seta. Stando così a poca distanza, i due piccoli e corti cilindri, eguali in lunghezza, quando da sotto, ad una data distanza, se li presenta il polo di una forte calamita, divenuti essi magnetizzati momentaneamente, avranno i poli simili nelle due estremità, e perciò si vedranno ripellere. Che se allora si tolga il polo della calamita, perdendo essi il magnetismo acquistato sotto la sua influenza, torneranno dopo nella posizione di prima, a segnar cioè la verticale. L'azione è dunque dovuta all' influenza della calamita la quale, inducendo un magnetismo simile nelle estremità de' due pendoli di ferro dolce, perchè essi sono poco distanti, si ripellono, e quando l'influenza cessa, perdendo il magnetismo svolto, essi tornano nella posizione di prima.

Alcuni fenomeni prodotti per influenza magnetica domandano un certo tempo per compiersi, ma può questo accelerarsi con tutti que'mezzi che valgono ad eccitare un movimento vibratorio nelle particelle del ferro o dell'acciaro. Così quelli esposti, e la stessa elettricità, operano come mezzi meccanici che eccitano queste vibrazioni. Le particelle del ferro dolce prendono subito dopo la loro primitiva posizione, o lo stato neutro, ma quelle dell'acciaro resistono al ristabilimento di cotesto equilibrio magnetico, o al ritorno allo stato neutro o indifferente. Ogni cagione dunque che allontana o scema la resistenza o forza coercitiva delle particelle, tende a distruggere il magnetismo nell'acciaro, e perciò osservasi ancora, che lo stesso mezzo meccanico che ha svolto il magnetismo, può distruggerlo. Così una spranga di acciaro calamitata può perdere il magnetismo per un colpo di martello, o con l'urto istantaneo contro un corpo duro o quando si arroventi ec.

431. *Pendolo magnetico.* Sul principio del pendolo elettrico può comporsi il pendolo magnetico per dimostrar l'attrazione e ripulsione magnetica.

Se esso è fatto con un corto cilindro di ferro dolce, opererà, come la pallina di midolla di sambuco, ovvero altro corpo leggiero del pendolo elettrico, cioè per influenza, come si è or ora esposto. Ma se invece si fa con un filo di acciaro calamitato, sospeso orizzontalmente per mezzo con un filo di seta, mostrerà ne' due estremi con il polo simile di una calamita la ripulsione, e col polo contrario l' attrazione. Si adopera ancora l' ago magnetico, o una spranghetta magnetica mobile, come nella bussola ordinaria, per provar la stessa attrazione e ripulsione ec.

Magnetismo terrestre ed azione magnetica della terra.

432. Gilbert aveva già considerata la terra come una gran ca-

lamita (1). Confirmando i fisici questa opinione, vi hanno aggiunto, che essa ha la *linea media* ed i *poli opposti*, come una calamita, sia naturale che artificiale. La linea media è situata verso l'equatore terrestre, cioè nelle ragioni equatoriali, ed essa una volta lo taglia verso il 180° grado nell'Oceano equinoziale, ed un altra volta verso il 10° grado nell'Oceano atlantico. Quest'equatore magnetico però non forma una linea eguale, perchè esso sembra patir cambiamenti nella sua forma, e nello stesso mentre par che sia animato da un movimento da oriente ad occidente.

Si dice *fluido boreale* quello che domina nell'emisfero boreale della terra, e *fluido australe* l'altro che domina nell'emisfero australe; e poichè si è detto che i due fluidi contrarii si attirano, ne segue, che è il polo *australe* della calamita che si dirige verso il *nord*, ed il suo polo *boreale* verso il *sud*.

L'*azione direttrice* della terra su l'ago magnetico si manifesta tanto nella sua superficie, che a grandi altezze e profondità a cui son pervenuti i fisici che l'hanno sperimentata. Biot e Gay-Lussac, che si alzarono a 7000 metri nel globo aerostatico, furono specialmente incaricati dall'Istituto di Francia di osservar se v'era variazione, ovvero decrescimento nel magnetismo terrestre a grandi altezze nell'atmosfera, ma i risultamenti furono negativi. La terra dunque opera come una calamita, i cui poli magnetici coincidono sensibilmente co'suoi poli di rotazione, e sopra i corpi magnetici come due forze eguali opposte l'una all'altra. Nell'ipotesi de'due fluidi magnetici, il fluido boreale sarebbe più accumolato intorno al polo nord, ed il fluido australe intorno al polo sud, e perchè l'ago magnetico si dirige in uno dei due poli, deve perciò esso possedere il magnetismo contrario per esservi attirato.

Per misurar l'intensità delle due forze magnetiche, si determina l'allontanamento più o men grande che un ago patisce per un influenza opposta a quella della terra; o si conta il numero di oscillazioni che fa in un tempo dato un ago calamitato rimosso dalla sua direzione. L'energia della forza magnetica ha per misura il quadrato del numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo, o il rapporto inverso del quadrato de'tempi impiegati per fare uno stesso numero di oscillazioni. La intensità magnetica della terra aumenta, come nelle calamite, a misura che si avvicina verso i poli; ma in un medesimo luogo essa prova diverse variazioni, secondo l'epoca dell'anno ed anche l'ora del giorno.

433. *Asse magnetico terrestre.* Un ago magnetico, supposto di una sottigliezza estrema, e sospeso pel suo centro di gravità, essendo la sua gravità distrutta dalla resistenza del filo di sospenzione

(1) Gilbert *de Magnete magnetisque corporibus, et magno magnete Tellure* 1628.

intorno a questo punto, è evidente che dovrà dirigersi parallelamente alla risultante totale delle azioni attrattive e ripulsive che la terra esercita sopra i suoi elementi magnetici. La direzione di questa risultante, e per conseguenza dell'ago, porta il nome di *asse magnetico terrestre*; l'angolo del piano verticale che lo racchiude col meridiano geografico, dicesi *declinazione dell' ago*, ed il suo angolo con l'orizzonte chiamasi *inclinazione*. Ma l'osservazione diretta della posizione dell'asse magnetico non può sperimentarsi, perchè non si potrebbe sospendere un ago pel suo centro di gravità in modo da farli prendere ogni posizione possibile, e perciò, siccome la posizione di quest'asse è determinata dalla *declinazione* ed *inclinazione* dell'ago magnetico, si osservano questi due elementi con apparecchi separati, cioè il primo con la *bussola di declinazione*, ed il secondo con la *bussola d' inclinazione*, che descriveremo appresso.

434. *Azione magneto-tellurica*. La terra, essendo essa stessa una gran calamita, ha un azione continua su le calamite tanto naturali che artificiali, e sopra tutt' i corpi magnetici; quest'azione tende a calamitar questi ultimi, ma a cagione della sua poco energia, essa opera sopra i corpi che hanno debol forza coercitiva, e siffatto calamitamento è analogo a quello che si è detto succedere per influenza di una calamita a distanza.

L'azione magnetica della terra, o magneto-tellurica, è soprattutto rimarcabile sul ferro dolce più che su l'acciaro, ove la forza coercitiva è più grande. Così quando una verghetta di ferro lunga 3 piedi è posta nella direzione dell' asse magnetico della terra, o solamente in una posizione verticale, essa acquista un polo australe nella parte superiore, e boreale nella inferiore. Che se poi si fa voltare la verghetta intorno il suo mezzo, l' intensità de' poli diminuisce a misura che essa si avvicina ad una posizione perpendicolare alla primitiva direzione; allora pervenuta in questo punto ogni indizio di polarità è estinto, ma se proseguesi il movimento, i poli appariscono nuovamente, ma in senso contrario, in modo che il polo australe è sempre nella estremità superiore della verghetta di ferro dolce. I corpi dunque magnetici, posti sotto l' influenza del Globo, divengono vere calamite, nelle quali i poli cambiano con la loro posizione, e solo nel caso in cui per qualche circostanza essi acquistano una forza coecitiva, come per un azione meccanica, una percussione, una vibrazione, una torsione ec., le loro polarità persistono malgrado il cambiamento di posizione.

435. *Meridiano magnetico*. Dicesi meridiano magnetico il piano verticale che passa pel centro della terra, che è la direzione che prende un ago magnetico orizzontale, o semplicemente la *traccia* che farebbe questo piano su la superficie della terra. Or siccome un ago magnetico portato ovunque, dopo varie oscilla-

zioni si ferma sempre in modo, che i poli si trovino diretti verso i poli magnetici della terra, cioè che la estremità sud o australe dell'ago è volta verso il nord, e l'estremità boreale o nord è volta verso il sud, deve l'ago trovarsi nella direzione di una linea la quale, tagliando l'equatore terrestre, anderebbe direttamente da un polo magnetico all'altro della terra. Questa linea dunque segnata dell'ago, è il *meridiano magnetico*. Or essendo il *meridiano terrestre* o *astronomico* di un luogo qualunque, il piano che passa per questo luogo e per l'asse della terra, e che la *linea meridiana*, o semplicemente *la meridiana*, è la *traccia* di questo piano su la superficie terrestre, ne segue, che i piani de'due meridiani, magnetico cioè ed astronomico, sono verticali, poichè essi passano per la verticale del luogo su cui si considerano, osservando però che questi due piani verticali possono far tra loro un angolo più o meno grande, il che dà poi luogo alla *inclinazione* dell'ago magnetico.

436. *Declinazione dell'ago calamitato*. Dicesi *declinazione* l'angolo che fa in ciascun luogo l'ago o una spranghetta di acciaro calamitato, quando può liberamente rotare, col meridiano astronomico, o semplicemente, l'angolo che la direzione orizzontale dell'ago fa con la meridiana. La declinazione sarà *orientale*, se il polo australe dell'ago passa all'*Est* della meridiana, ed *occidentale* quando passa all'*Ovest*. Nella figura di lato M T dinota la meridiana, o il meridiano terrestre o astronomico, ed *ab* l'ago magnetico, con l'angolo di *declinazione* segnata con la meridiana, il quale essendo preso sopra quello dell'Osservatorio di Parigi, è occidentale, e trovasi presentemente di circa 22°, perchè essa può cambiar sensibilmente col tempo. Ma v'ha de'luoghi su la terra in cui l'ago non prende alcuna declinazione, perchè si dirige esattamente secondo la linea del meridiano terrestre. Per questi luoghi, l'insieme de'punti successivi in cui la declinazione è nulla, forma ciò che dicesi *linea senza declinazione*, e sono quelle linee tirate sul globo, che uniscono tutt'i punti ove l'ago magnetico segna il vero nord ed il vero sud. Di questi punti o linee, da un polo all'altro ve ne sono almeno due che traversano i mari ed i continenti in direzioni sinuose ed irregolari, sommamente complicate. La direzione dunque dell'ago non è sempre costante nello stesso luogo, ed essa cambia in pochi anni seguendo una legge non ancora abbastanza determinata. Nel 1658 una linea di nulla declinazione passava per Londra, ma dopo si è spostata lentemente ed irregolarmente, avanzandosi verso l'Ovest, ed ora è vicino New-York, nell'America del



Nord. Le ulteriori ricerche comprovano dover essere la legge del magnetismo terrestre assai complicata, e fanno credere probabile che in ciascuno emisfero debba esservi più di un polo magnetico (1).

437. *Inclinazione dell'ago magnetico.* Quando un ago di acciaro non calamitato è sospeso pel suo centro di gravità, esso resta nella posizione orizzontale, ma se è calamitato, la estremità che guarda il polo è sempre sensibilmente più bassa di quella che guarda l'equatore. L'inclinazione dunque è l'angolo che fa con l'orizzonte l'ago magnetico quando può muoversi liberamente attorno il suo centro di gravità nel piano verticale del meridiano magnetico. L'apparecchio che serve ad osservar questa inclinazione chiamasi *bussola d'inclinazione.* A partir p. e. da Parigi con questo strumento, andando verso il polo boreale della terra, l'inclinazione aumenta nello stesso tempo che la latitudine, ma osservasi in qualche luogo, ad una certa distanza dal polo di rotazione della terra, che l'ago d'inclinazione si tiene perfettamente verticale, ed in conseguenza l'inclinazione è di 90°; questo punto è il *polo magnetico* boreale della terra. All'opposto andando invece verso il polo australe, l'inclinazione si vede scemar con la latitudine, e giunti nella zona equatoriale, trovasi un certo punto in cui l'inclinazione è nulla, cioè che l'ago si mantiene perfettamente orizzontale. Passando poi più oltre, trovasi un altra inclinazione, ma ivi è il polo boreale dell'ago che si abbassa verso l'orizzonte, e più esso si vede inclinare a misura che la latitudine australe aumenta. Verso il polo australe dunque vi ha un altro punto in cui l'ago d'inclinazione si alzerebbe esattamente nella verticale del filo a piombo, stando il suo polo boreale in basso e l'australe verso lo zenit. Questo punto, la cui posizione precisa s'ignora ancora, è il *polo australe* della terra (2).

(1) Il capitano Lyon, in una spedizione intrapresa nel 1824, ad oggetto di scoprire un passaggio al nord-ovest lungo le coste di America, trovò che il polo magnetico era allora al grado 64 51' 25" di latitudine nord, e ad 80 51' 25" di longitudioe occidentale. Le osservazioni più recenti di Hansteen danno come quasi certo l'esistenza di uno di questi poli in Siberia, il quale sarebbe al grado 120mo di longitudine orientale, per rapporto a Greenwich, vicino Londra, ed un poco al nord del 60mo di latitudine. Da queste osservazioni risulta, che i due poli magnetici dell'emisfero nord, son situati a 180 l'uno dall'altro. Il Capitano Ros, ha fissato il polo americano a 70 14' di latitudine nord, e 96 40' di longitudine occidentale.

(2) Qualunque sia il meridiauo che traversa la zona equatoriale, si trova sempre un punto in cui l'ago si tiene orizzontale. La serie di questi *punti senza inclinazione*, forma intorno della terra una curva irregolare, che si è detta *equatore magnetico*, ed è la linea che passa per questi punti; ma tra l'equatore magnetico ed i poli magnetici, l'ago prende tutt'i gradi possibili d'incliuazione. In una parte del corso di questa linea, essa è regolare, e siegue sensibilmente la direzione di un gran cerchio che sarebbe inclinato all'equatore terreste di 12 a 13 gradi, e che lo togliarebbe, da una parte all'ovest della costa occidentale d'America verso l'isola di Galego, e dall'altra parte,

Seguendo attentamente le variazioni diurne dell'ago, osservasi che in tutt'i giorni queste hanno un certo periodo. Così esso dirigesi verso ovest, o occidente dopo il sorger del sole ad un ora pomeridiana, per tornar dipoi verso l'est o oriente. Siffatta variazione non è la stessa in tutt'i luoghi ed in tutt'i mesi dell'anno; essa arriva al suo *maximum* a Parigi in giugno, e va sino a 14; il suo *minimum*, che succede in decembre, è di 9'. A Londra la variazione diurna che succede in giugno e luglio, arriva a 19' 6"; ma più condizioni atmosferlche possono avere opera su le variazioni dell'ago. Così l'aurora boreale, gli uragani, i tremuoti, il fulmine ec. alterano il regolare movimento dell'ago, ma soprattutto l'elettricità può invertirne i suoi poli. Le variazioni poi d'*inclinazione* e *declinazione* succedono a poco a poco in ciascun luogo.

438. *Intensità dell'azione magnetica del globo.* Siccome si è detto al Vol. 1° potersi giudicare dell'intensità della gravità col mezzo del pendolo a diverse latitudini, dal numero delle sue oscillazioni; può similmente conoscersi la intensità magnetica allontanando l'ago magnetico dalla sua linea di riposo in un luogo dato, notando le oscillazioni che fa per tornar nella posizione di prima. L'intensità magnetica si troverà in questo modo proporzionale al quadrato del numero delle oscillazioni fatte in un dato tempo.

Gay-Lussac in un viaggio aerostatico, trovò con questo mezzo che l'intensità magnetica non diminuiva sensibilmente alzandosi nell'atmosfera a 7000 metri. Humboldt osservò che avanzandosi dall'equatore verso i poli, quest'azione va al contrario sempre crescendo, e se rappresentasi per 100 l'intensità all'equatore, essa sarà 127 a Napoli, 154 a Parigi, 137 a Berlino ec.

verso la costa occidentale di Africa, inclinandosi verso il sud, nella parte dell'oceano Atlantico, che separa questi due punti. Più oservazioni poi ripetute sembrano indicare, che l'equatore magnetico patisca nel mare del Sud, fra le isole Sandwich e le isole degli Amici, numerose e complicate sinuosità, di cui è assai difficile darne ragione.

Alcuni viaggiatori credono, che questa curva, cioè l'equatore magnatico, taglierebbe in quattro punti l'equatore terrestre, ma il Capitano Duperrey ed il capitano Sabine, che separatamente l'hanno traversata più volte, assicurano che essa traversa l'equatore terrestre in due soli punti opposti, poco lontani dal meridiano di Parigi, i quali punti sarebbero uno nell'Atlantico, e l'altro nell'Oceano Pacifico; che l'equatore magnetico non si allontana molto dall'equatore terrestre in tutte le parti del mare del Sud, ove di rado vi ha qualche isola, ma la deviazione aumenta a misura che le isole divengono più frequenti, ed arriva al suo massimo tanto al nord che al sud quando si traversano i continenti di Africa e di America. Ed in ultimo, hanno essi ancora osservato, che la simmetria de'segmenti nord e sud di questa curva, deve esser molta regolare in opposizione a quando prima si credeva differentemente.

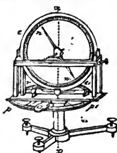
Della bussola.

439. Come la più parte de'benefattori del genere umano, anche l'inventore della bussola è restato ignoto. Si crede che una bussola di forma grossolana si fosse inventata nell'alta Asia, da dove i Tartari la portarono nella China, in cui i missionarii Gesuiti ne trovarono alcune vestigie. Documenti portati da Duhalde nella sua opera su la China portano, che questo strumento maraviglioso si usava da' chinesi da più di mille anni avanti l' Era nostra per viaggiare ne' continenti. Qualche storico ha creduto che Marco Polo avesse portato dalla China questa invenzione, ma poichè egli tornò in Europa verso il 1295, e che nel 1180 già erasene parlato da Guyot nella sua opera, e nel 1266 nella Storia su la Norvegia, pare che ciò venga smentito da queste narrazioni assai anteriori. Nondimeno quanto erasi prima detto su la bussola, sotto altro nome, cioè quello di *mariniera*, riguardava solo la conoscenza che avevasi di una *magnete galleggiante* su l' acqua, che dirigeva una sua estremità solo verso il nord o la tramontana, e non altro. E per quanto si abbia voluto rintracciarne altre conoscenze più positive, pare che la pluralità degli storici si accordano nell'attribuire a Flavio Gioja di Amalfi, in Provincia di Principato citeriore, se non la scoperta, almeno la congegnazione della bussola, presso a poco come quella che ora si adopera da' naviganti, il cui uso d' allora (verso il 1300) a poco a poco, ma assai lentamente si diffuse in Europa (1).

(1) In origine la bussola consisteva in un ago magnetico posto sopra un corpo che galleggiava sull'aqua, ovvero entro un cannellino di paglia, che anche tenevasi galleggiante. La prima opera che parla di questo strumento, che serviva solo a conoscere il nord, o la tramontana, fu pubblicata da Guyot di Provins nel 1180; e fino a Burnet Latin, Francesco Barberino, e Dante inclusivamente, questi scrittori indicarono sempre l'*ago galleggiante*, o l'ago in generale, senza mai dinotarlo col nome di *bussola*. In un commentario inedito di Francesco Buti, sul poema di Dante, il cui manuscritto trovasi nella biblioteca Magliabechiana di Firenze, sotto il n.° 29, si parla per la prima volta dell' *ago sospeso* e del modo singolare con cui facevansi in que' tempi le oservazioni magnetiche. Questa sospensione dell'ago trovasi anche in qualche modo dinotata nell' opera del *Guerin Meschino*, scritta a Firenze, prima che Dante componesse la Divina Commedia; e solo sarebbe a sapersi, se la voce *imbellico* ivi usata, possa valere *bilico* o *sospensione*; perchè ivi è detto ».... e mettendo il ferro imbellico quella parte che haveva tocca a la calamita si volgerà a tramontana, però li naviganti vanno con la calamita per mare e con la carta da navigare (*Guerino* detto il *Meschino*, Venezia S D, in 8, p. 115, lib. III, cap. 68.). Verso il mezzo del XIV° secolo pare dunque che può fissarsi la conoscenza dell' ago sospeso, e vi ha ragione a credere, che Flavio Gioja l' avesse così prima disposto, come ora lo vediamo nella bussola de'naviganti, cioè sopra un perno acuto pel suo mezzo, affinchè potesse più liberamente girare che sul corpo galleggiante su l'acqua e chiuso in un bossolo.

Nel 1497 Vasco de Gama, navigatore portoghese, fece anche uso nell'ago magnetico ne'primi viaggi nelle Indie, a solo oggetto di conoscere il nord o la tramontana, perchè credevasi nei primi tempi, che l'ago calamitato si voltasse direttamente al nord in tutt'i luoghi. Ma Cristofaro Colombo, che lo aveva preceduto, nel 1492 nella ricerca del nuovo mondo, fu non poco sorpreso nell'osservare che quella direzione non era costante, e che l'ago allontanavasi più dal meridiano a misura che egli avanzava nel-l'Oceano Atlantico; il che venne nel 1500 confermato da Cabot, di Venezia, che divenne dopo gran pilota d'Inghilterra. Da questa prima osservazione ebbe origine la *declinazione* dell'ago magnetico, la quale una volta conosciuta col fatto, restava solo a scovrir le variazioni che essa patisce quando si passa da un luogo ad un altro. Nel 1576 Roberto Norman faceva altra più importante scoperta, cioè quella dell'*inclinazione* dell'ago magnetico; e Gunter, professore al Collegio di Greshem, scopriva nel 1622 il cambiamento di declinazione nello stesso luogo. Siffatte scoperte contribuirono più efficacemente al perfezionamento della bussola, ed a comporne una che servisse per la misura della inclinazione, un altra per quella della declinazione, cioè la *bussola d'inclinazione* e la *bussola di declinazione*.

440. *Bussola* o *ago d'inclinazione*. La figura quì annessa mostra l'ago o la bussola d'inclinazione che è più in uso ne'diversi Osservatorii astronomici, come in quello di Parigi ec. Essa si compone di un cerchio orizzontale diviso in 360 parti $p\,p'$; di un cerchio verticale $e\ e'$ che può muoversi intorno il centro del cerchio orizzontale, e dell'ago magnetico $n\ n'$ che poggia sopra piccoli supporti di agata con un asse assai delicato, che passa pel suo centro di gravità. Quando si situa il piano del coverchio mobile in modo che sia perpendicolare al meridiano magnetico, la forza direttrice della terra, rende l'ago verticale, perche in questa posizione le componenti di queste forze orizzontali sono distrutte. Facendo girare lentamente il cerchio verticale $e\ e'$, l'ago $n\ n'$ s'inclina più in più, ed arriva al suo *maximum* d'inclinazione quando il cerchio è nel meridiano magnetico. Per osservar l'inclinazione, si comincia dal condurre il cerchio verticale nell'*azimut*, ove l'ago è verticale, cioè in xx', e col mezzo del cerchio orizzontale diviso, si porti al gr. 90 della distanza angolare, perchè si trovi nel meridiano magnetico, ed in ultimo si segni l'inclinazione su l'estremità.



In questa operazione fa duopo notar due cagioni di errore,

come nella bussola di declinazione, la prima è che l'asse magnetico può non coincidere con l'asse dello strumento, ma ciò si corrige col metodo del rivolgimento. La seconda, la cui influenza è più grande, è il difetto di coincidenza del centro di gravità con l'asse di rotazione. Per quest'ultimo difetto, ove vi fosse, si cambia i poli dell'ago magnetico $n\,n'$, e così cambiato il senso della direzione dell'ago, la semi somma delle inclinazioni osservate, sarà la vera inclinazione. Allo stesso modo si fanno quattro osservazioni per averne la media, e rendere l'errore appena sensibile.

441. *Bussola di declinazione.* La bussola che serve per la navigazione, o *compasso di variazione,* che ha l'ago magnetico orizzontale, è una *bussola di declinazione.* Disposto in tal modo l'ago sopra una punta acuta, prende diversi nomi secondo l'uso che vuol farsene. Così quando impiegasi alle ricerche esatte su la direzione che prende l'ago magnetico, si dice *declinatorium*, ed allora se li dà una lunghezza di 6 a 12 pollici, e si sospende ad un filo di seta come esce da' bozzoli, cioè senza ritorcimento; se deve servire alla navigazione, prende il nome di *bussola,* e può ancora servire gl' ingegneri, ed a'minatori per la misura degli angoli ec. L'ago calamitato si chiude in una scatola circolare di rame, poco al disopra di un disco di carta su cui sono segnati i gradi. Per la navigazione la divisione del cerchio si fa in 32 parti, che si dicono *rombi* de'venti, e la bussola si sospende sopra un asse in modo da potersi tener sempre sensibilmente orizzontale in mezzo alle agitazioni del mare.

La forma dell'ago che si è trovata più idonea a produrre una maggior forza direttrice, è quella di un rombo assai allungato. La estremità boreale si fa più leggiera dell' estremità australe, affinchè si possa muovere sempre orizzontalmente. Situando nel meridiano geografico il diametro che passa per lo zero della divisione del disco, si avrà, che la estremità dell'ago dinota la declinazione, cioè la deviazione da questo meridiano.

Gli aghi di bussola debbon farsi assai leggieri, affinchè l' attrito nel punto di sospensione sia appena sensibile, essendo questo proporzionale al peso dell'ago, come ancora l'intensità del magnetismo che può darsi all'ago cresce in minore rapporto della sua spessezza. Così supposto un ago orizzontale che abbia una sufficiente larghezza lineare, la sua direzione sarà quella delle risultanti orizzontali delle azioni del magnetismo terrestre; ma se questa larghezza è assai notevole, allora può avvenire, che l'asse della sua figura non più coincide esattamente con le sue risultanti. Per verificar ciò, si volta l'ago in modo che la faccia superiore divenga inferiore; in questa nuova posizione, l'ago si vedrà deviare di una quantità eguale a quella di prima, ma opposta; in modo che se prendasi il mezzo dell'arco com-

preso tra l'estremità dell'ago in queste due posizioni, si avrà la misura esatta della declinazione.

442. *Compensatore.* Il ferro che entra nella costruzione de' navigli può cambiar la declinazione nell' ago. Wales, astronomo che seguì la spedizione di Cook, notò il primo questa alterazione nell'ago della bussola, la quale poteva cagionare un errore di 15° a 20°. Barlow ne studiò dopo il modo di corrigerla, immaginando un *compensatore*. Egli vide poter questa influenza delle masse di ferro derivar da tre cagioni: 1° dalla scomposizione del magnetismo nell'ago, determinata nelle sostanze magnetiche che lo circondano, ma questo effetto è assai debole, e può facilmente evitarsi situando la bussola molto lontana dalle masse di ferro del naviglio; 2° dallo stato magnetico permanente che possono aver queste sostanze, secondo il loro potere coercitivo; 3° dallo stato magnetico variabile che prendono queste sostanze sotto l' influenza del magnetismo terrestre. Quest' ultima cagione essendo la più importante a tenersi in conto, perchè i suoi effetti sono incessantemente variabili, non ha potuto distruggersi in modo assoluto, ma approssimativo solamente. Considerando Barlow le azioni esercitate da queste masse di ferro su la bussola, qualunque ne sia il numero e la distanza, pervenne a riunirle in un solo disco di ferro dolce, che disse perciò *compensatore*. Fa duopo solo stabilire con saggi ripetuti sopra sciascun naviglio, la posizione esatta in cui deve situarsi questo disco perchè produca siffatta compensazione, e quando si è trovata, per corriger le osservazioni fatte con la bussola, si osserva prima la direzione dell' ago, si allontana subito dopo il disco, e poi si riporta nel sito di prima. In questo caso la deviazione fuori del meridiano magnetico può considerarsi doppia della seconda osservazione di quanto è stata nella prima, e così il paragone dei risultamenti ottenuti, fa conoscere la deviazione dovuta alle masse di ferro contenute nel naviglio, ed inconseguenza la correzione che deve farsi alla prima osservazione.

443. *Perturbazioni che possono avvenire nell'ago della bussola.* Si è detto nella declinazione dell' ago, che questo può patire perturbazioni diurne, ed annue per più cagioni. Così i tremuoti gli uragani, la elettricità atmosferica, l'aurora boreale, (1) le variazioni di temperatura ec. possono apportar variazioni nella posizione ordinaria dell'ago magnetico. I fenomeni osservati da Ampere sopra queste perturbazioni, lo portarono a considerar la terra come una pila galvanica che resultava dalla sopraposizio-

(1) L'aurora boreale manifesta i suoi effetti su l' ago magnetico non solo nei luoghi ove questa grande meteora luminosa è visibile, ma ancora a distanze considerevoli. Un aurora visibile a Pietroburgo operava su l' ago calamitato a Parigi, quando Arago era intento ad alcune osservazioni astronomiche.

ne di differenti strati di rocce, e guidato dall' esperienza, cioè che anche i dischi della stessa natura, ma di temperatura differente possono produrre la elettricità, ne dedusse potersi ritenere, che i mutamenti di temperatura che in tutt' i giorni succedono dall' est all' ovest, cioè da oriente ad occidente, durante la permanenza del sole a varie altezze ed a gradi di obliquità differente de' raggi, deve contribuir non poco alle posizioni delle correnti terrestre.

344. *Linee isodinamiche*—Humboldt, dopo gran numero di osservazioni fatte in più parti del Globo su l'intensità del magnetismo terrestre, potè dedurne, che questa intensità aumenta in generale con la latitudine, o dall' equatore verso i poli. Egli chiamò *isodinamiche* le curve su i punti della superficie terrestre ove questa intensità e la stessa. Humboldt seguendo una di queste curve nel nuovo continente, osservò che essa taglia quasi ad angolo retto l' equatore magnetico al Perù per 70° di latitudine australe ed 81° di longitudine occidentale. Così l' intensità magnetica osservata in questo nodo peruviano, essendo presa per unità, l' intensità magnetica a Napoli sarebbe rappresentata da 1, 2745; a Milano, da 1, 3121; a Parigi, da 1, 3482. Humboldt ne dedusse da queste osservazioni, che la curva isodinamica del Perù era quella in cui eravi il *minimum* d'intensità magnetica, ma le osservazioni di Rossel, e quelle del Capitano Sabine, avevan fatto notare, che l'intensità su l'equatore magnetico è ancora minore nell'arcipelago delle Grandi-Indie, e su le coste occidentali d'Africa che al Perù. Ed in ultimo, Humboldt considera come assai probabile, che l'intensità magnetica su la superficie del globo varia tra i limiti che sono tra essi come l' unità a 2, 6.

Duperrey, nei suoi viaggi marittimi, dopo numerose osservazioni, potè notare più linee di eguale intensità, cioè *isodinamiche*, e pervenne a fissarne nove che si estendono ne' due emisferi. Queste curve niente hanno di comune con quelle che abbiam dette di *eguale inclinazione*, perchè esse si tagliano in tutte direzioni, sovente ad angolo retto, come al nodo peruviano segnato da Humboldt. Duperrey fece anche altra più importante osservazione, cioè, che queste linee isodinamiche presentano forme identiche alle curve *isotermiche*, determinate dallo stesso Humboldt; il che porta a desumerne, che siffatte intensità magnetiche differenti, possono ripetersi dalle variazioni di temperatura in queste diverse parti della superficie terrestre.

CAPITOLO IX.

Elettricità.

445. Quantunque le reiterate scoperte su l'elettricità si fossero da pochi anni estese con tanta rapidità, che ove si volesse partitamente descriverle, se ne richiederebbe un estesissimo trattato speciale; nondimeno la elettricità presenta ancora il carattere di una scienza fisica poco avanzata. Per farne lo studio, farebbe duopo percorrere la serie de'fatti isolati, e le teoriche parziali che essa comprende, discutendone in ultimo il merito relativo delle ipotesi con cui si è cercato stabilire un legame con queste teoriche. Ma siffatta discussione, e l'esposizione delle numerose scoperte fatte su la elettricità, non può tener luogo in un opera elementare, e perciò la generalità dei fisici si sono ristretti o a dirne tanto che basti per collegare i fatti principali e più generali che hanno più stretto rapporto con la teorica fisica dell'elettricità, e delle sue parti nelle quali deve considerarsi divisa.

La necessità di ammettere una elettricità isolata, o composta di due fluidi distinti come il magnetico, diversi dalla materia ponderabile ordinaria, a fin d'interpretare i tanti svariati fenomeni sinora osservati, sembra giustificare i fisici se ad essa ricorrono per collegarli quanto e possibile in una legge generale. Or quantunque i loro sforzi sembravano dover più efficacemente contribuire a fermar l'una o l'altra ipotesi, fra quelle più generalmente adottate, i numerosi nuovi fatti posteriormente scoperti, le hanno invece rese meno probabili, ed assai più complicate, in modo che convien confessare, non esservi ancora una teorica su l' elettricità che non presenti infinite objezioni. Ma ove si rifletta, che l' elettrico nel suo apparire, ed operar su la materia ponderabile, assume tutte le sembianze degli altri tre fluidi imponderabili, e delle forze fisiche tutte della natura, perchè in forma di correnti o in distacco, produce effetti calorifici, luminosi, magnetici, meccanici, attrattivi e ripulsivi; e nelle azioni chimiche opera come le affinità ordinarie, cesserà ogni sorpresa, se tante difficoltà i fisici ancora incontrano nel collegar que'si svariati fenomeni sotto un principio comune per trarne una più esatta legge generale che possa tutti comprenderli; il che deve dal premesso dedursi poter ciò derivare dalla sorprendente generalità con cui opera questa forza naturale.

Que'fisici, che per troppo severità cercan distrugger l'esistenza di un fluido elettrico specifico, sia semplice ovvero composto di due altri fluidi distinti, per sostituirvi modificazioni di forze inerenti alla materia, moti vibratorii molecolari prodotti dalle

stesse forze svolte da una cagione fisica, chimica, o meccanica qualunque, non sono stati più avventurosi nel fissar la cagione di que'fenomeni per trarne una teorica generale esente anch'essa da objezioni, dappoichè i pochi fatti sinora addotti in confutazione delle antiche teoriche, ed in sostegno delle nuove, sono assai limitati, e perciò non han potuto applicarsi alla spiegazione generale de' fenomeni elettrici. In tanta disparità dunque di opinioni su l'essenza della causa che produce questi fenomeni, ripetiamo anche una volta quello che si disse sul calorico, che per la spiegazione cioè di essi non è duopo assolutamente ricorrere all' esistenza di un fluido particolare, persuasi che i fatti quando sono attentamente osservati e registrati, sussisteranno sempre, e perciò una teorica deve servir solo ad aggrupparli quanto è possibile per facilitarne lo studio, e trovarvi i mutui loro rapporti, dandovi solo tanta importanza che basti per guida nelle nuove investigazioni, persuasi, come spesso è avvenuto, che in generale le teoriche cambiano con la scoperta di nuovi fatti, ma questi restano, quando si sono rigorosamente esaminati.

Nozioni storiche su l' elettricità.

446. Le prime conoscenze su l'elettricità le dobbiamo a Talete di Mileto, che visse seicento anni avanti l'Era nostra, il quale nell'osservar che l' ambra gialla confricata, acquistava la proprietà di attirare i corpicciuoli leggieri, si avvisò che l'ambra si animasse. Tre secoli dopo, Teofrasto nel suo Trattato de *Lapidibus*, descrisse la prima volta questa proprietà dell'ambra, e sino al cader del XVI secolo, sapevasi solo posseder essa, e qualche altra sostanza questo potere attrattivo ed alcune apparenze luminose. Newton, dopo che Otto de Guerike nel 1670, ebbe fatta una macchina con un globo di zolfo, attraversato da un asse di rotazione, osservò nel 1675, che quell' attrazione trasmettevasi anche a traverso il vetro, facendo derivare il fenomeno da un *fluido etereo* posto in movimento dalla *vibrazione* delle particelle de'corpi confricati; con che pare aver Newton presentita la più probabile cagione di que'fenomeni. Perchè poi questi furono osservati la prima volta nell' ambra gialla, che i Greci chiamavano ἤλεκτρον, cioè *electron*, si disse perciò *elettrico* quel fluido che si credeva cagione di que' fenomeni.

Gilbert, medico a Londra nel cominciamento del XVII° secolo pubblicò un opera assai rimarcabile col titolo *De Magnete*, in cui faceva conoscere che la proprietà attrattiva scoperta nell'ambra appartenevasi ancora ad altri corpi; ma pare che devesi a Stefano Grey, della Società reale di Londra, il primo esame più attento eseguito su'fenomeni elettrici. Le sue sperienze ebbero cominciamento nel 1720, e vennero continuate sino avanti la

sua morte, nel 1736. Questo fisico provò, che certi corpi divenivano elettrici col confricamento, ed altri no. Il vetro, le resine, la lana, la seta i peli ec. erano compresi tra i primi, ed i metalli ed i liquidi tra gli ultimi. Egli disse perciò *elettrici* quei corpi che manifestavano que'fenomeni e *non elettrici* gli altri che con lo strofinio non li producevano. Disse ancora *conduttori* i corpi che divengono elettrici quando son posti prossimamente ad un corpo elettrizzato, e non *conduttori* gli altri, che nella stessa circostanza non assumevano questa proprietà. Conobbe parimenti Gray, che tutti i corpi elettrici erano *non conduttori*, mentre che i corpi non elettrici erano tutti *conduttori;* dal che ne dedusse, doversi adoperare i primi per *isolare* i corpi elettrizzati o eccitati, ed i secondi quando si volesse portar la elettricità a più o meno distanza. Posteriormente si dissero ancora *anelettrici* o *deferenti* i corpi conduttori, o non elettrici, ed *idioelettrici*, *elettrici da se* o *coibenti*, i corpi non conduttori o elettrici. Nondimeno, sino a'tempi anche posteriori a Gray, le ricerche su l'elettricità erano relative solo a' fenomeni di attrazione e ripulsione, di conducibilità e di luce. Ma era riserbato a Dufay, fisico francese di una grande celebrità, di posar la pietra fondamentale dell' ipotesi de'due fluidi. Egli fece pubblicare nelle Transazioni filosofiche una prima memoria in cui esponeva due grandi scoperte capitali. La prima era, che quando un corpo eccitato è posto vicino di un corpo leggiero sospeso, che trovasi nel suo stato naturale, esso è attirato, e continua di esserlo sino che abbia acquistato un dato grado di elettrizzamento: allora esso è respinto. Quando poi quel corpo ha perduto l'elettricità acquistata, facendolo toccar con altro corpo che è nel suo stato naturale, esso è attirato un altra volta dal corpo eccitato, è così di seguito. Da questo primo fatto venne provata l'*attrazione* e la *ripulsione* elettrica, ed esso diede origine alla scoperta del *pendolo elettrico*, degli *elettroscopii* ec. La 2ª, che vi sono due sorte di elettricita, la prima è quella che sviluppa il vetro, il cristallo di rocca, le pietre preziose, i peli, la lana ec., e la seconda quella che sviluppa l'ambra, il copale, la lacca, la seta, la carta, le resine ec. Egli chiamò la prima elettricità *vitrea* e la seconda *resinosa*. Per dar poi ragione de'fenomeni elettrici, ed in ispecialità dell'attrazione è ripulsione, stabili come legge generale, che i corpi caricati con la stessa elettricità si ripellono mutuamente, e si attirano quando la loro elettricità è di natura differente; o più brevemente, che *le elettricità simili si ripellono e le contrarie si attraggono* (1). Questa scoperta, com'era da preveder-

(1) Phil. Tran. Vol. XXXVIII, p. 258. Poco dopo Dufay pubblicò a Parigi altre otto dissertazioni su l' elettricità, nelle Memorie dell' Accademia delle Scienze.

si, ecclто la sorpresa è l'emulazione de'fisici contemporanei, e la scienza dell'elettricità, sotto le debite riforme e perfezionamenti successivi, si vide dopo sempre più sospinta a quel grado di avanzamento in cui ora si trova mercè la sua ipotesi, richiamata dall'oblio, per le cure di Symmer e suoi seguaci.

Per mettere quanto è possibile in chiaro aspetto i fenomeni che riguardano quest' importante ramo della scienza fisica sperimentale, cioè la elettricità, considereremo questa divisa nelle seguenti parti:

1° Elettricità statica o di tensione
2° Galvanismo o elettricità Voltaica
3° Termo-elettricismo
4° Elettro-dinamica, o elletricità in corrente
5° Elettro-magnetismo
6° Fenomeni d'induzione
7° Elettro chimica.

ELETTRICITA' STATICA.

447. *L'elettricità statica* è quella parte della scienza elettrica che parla dell'equilibrio delle forze elettriche, ossia dello stato d'equilibrio tra le due elettricità contrarie e libere, ritenute in tensione da una cagione, la quale considerata come forza, vinta che sia da esse, all'istante e rapidamente tornano nel loro primiero stato d'equilibrio naturale, sparendo così ogni segno di stato elettrico, o di loro esistenza libera. Oppure più semplicemente, essa è lo stato d'equilibrio delle ripulsioni ed attrazioni elettriche tra due corpi oppostamente elettrizzati.

Nella macchina elettrica, l'elettricità accumulata sul conduttore viene equilibrata dall' elettricità contraria della terra; la cagione che così in tensione le ritiene, è la coibenza dell' aria, vinta la quale, esse riuniscousi allo stato di equilibrio naturale. Lo stesso avviene nella boccia di Leyda tra le elettricità contrarie, dell'interno col di lei esterno; nel condensatore, tra quella del piatto superiore coll'inferiore, e tra i due piatti opera lo stesso un corpo coibente in vece dell'aria.

Nella pila voltaica le elettricità contrarie sono spinte dal mezzo ai poli, quando è isolata, o da uno all'altro quando non lo è, dalle forze del contatto o dall' azion chimica; vengono tenute in equilibrio di tensione nell'interno dalle resistenze dei metalli e dei liquidi; nell'esterno da quella dell'aria o di altro gas, e così discorrendo di tutti gli altri fenomeni d' equilibrio tra queste due elettricità contrarie e libere, considerate come due elettricità *sui generis*, oppure l'una negativa, e l'altra positiva d'un solo elettrico. La legge della teorica di questa parte di scienza elet-

trica è, che l'attrazione e la ripulsione fra piccoli corpi elettrizzati, seguono quella dei quadrati inversi delle distanze.

Delle azioni elettriche-Mezzi per eccitare la elettricità.

448. La elettricità viene eccitata col *confricamento,* con la *compressione*, col *contatto*, col *calore* e con le *azioni chimiche.* Il *confricamento,* che è il primo mezzo conosciuto, può dirsi il più comune per eccitare la elettricità. Tutt'i corpi coibenti o conduttori si elettrizzano con lo strofinio, ma gli ultimi debbono essere isolati per ritener la elettricità svolta. Haüy *comprimendo* con le dita un cristallo di spato d'Islanda, ovvero di tormalina, sospesi ad un filo di seta, li trovò dopo elettrizzati. Becquerel provò che tutti gli altri corpi, chi più chi meno, potevano anche elettrizzarsi per compressione, e se ve ne ha alcuno che non presenta siffatto fenomeno, ciò deriva dal che questo non possiede la facoltà di conservare in se stesso, per un influenza propria, la elettricità che la compressione vi ha svolta. Due corpi sospesi ad un filo di seta e premuti l'uno contro l'altro, si trovano dopo costituiti in uno stato elettrico differente, e quanto più i corpi sono compressibili, lo svolgimento dell' elettricità si fa più sensibile. In alcuni casi la percossa, o il semplice *contatto,* che genera parimenti attrito e compressione, basta per eccitare la elettricità. Libes ebbe elettrizzato un disco metallico isolato, premendolo sul taffettà gommato, e lo stesso ottenne mettendo un corpo imperfettamente conduttore in contatto col mercurio, immergendovelo e ritirandolo dopo ec. La elettricità che manifestano i *pesci elettrici* come il *ginnoto*, la *raja turpedo,* ec. è prodotta anche in qualche modo per compressione, perchè dietro contrazioni musculari, ed azioni nervose dipendenti dalla volontà, essi svolgono, da organi loro proprii, ognuno anche elettricità; le *azioni chimiche,* producono parimenti svolgimento di elettricità, ma in corrente, come vedremo. Lo stesso dicasi del cambiamento di stato de'corpi e del calore che anche producono effetti elettrici. Alcuni minerali, come topazio, giacinto, tormalina ec. riscaldati si trovano dopo in istato di attirare i corpicciuoli leggieri. Lo zolfo fuso in un cristallo da oriuolo dopo raffreddato, perchè isolato dal vetro, ritiene la elettricità svolta per qualche tempo. In queste sperienze, l'umidità dell'aria diminuisce molto gli effetti, ma nell'aria secca essi sono assai sensibili e più durevoli.

Stato elettrico che i corpi acquistano col mutuo confricamento.

449. La elettricità che i corpi manifestano, dopo che si è scomposto il fluido naturale in essi contenuto, con uno dei mez-

zi accennati, può variare secondo le circostanze. Due corpi non conduttori si elettrizzano facilmente confricandoli insieme, e dopo si trova, uno posseder la elettricità positiva, l'altro la negativa. Il vetro e tutt' i corpi vitrei acquistano quasi sempre la elettricità positiva, quando sono puliti, qualunque sia il corpo confricante, come lana, seta, pelle, ec. e solo quando si adopera il pelo di gatto, si trova posseder dopo la elettricità negativa. Ma se questi corpi vetrosi sono scabri, allora quelle stesse sostanze che quando erano puliti li determinavano a prendere l'elettricità positiva, fanno acquistarli invece la elettricità negativa. In generale, tutt'i corpi a superficie scabra, pare che abbiano la tendenza ad acquistar la elettricità negativa.

Le sostanze resinose manifestano quasi sempre la elettricità contraria de'corpi vitrei, cioè la negativa, qualunque sia il corpo non conduttore con cui vengano confricate. Due corpi, uno conduttore, ed un altro coibente, confricati mutuamente si costituiscono in due stati differenti di elettricità. I corpi metallici isolati, confricati con diverse sostanze, possono acquistar gli uni la elettricità positiva, gli altri la negativa. Due corpi conduttori isolati, confricati, ovvero premuto l' uno su l'altro, acquistano una debole elettricità, che può conoscersi coll'elettrometro del Volta, che descriveremo appresso.

La specie di elettricità che prende un corpo collo strofinio, o col contatto con altro corpo, dipende dalla natura e stato in cui questi sono, e quando sono identici, deriva da alcune circostanze particolari. Così il vetro pulito confricato con la lana o con la seta dà l' elettricità positiva o vitrea, e col pelo di gatto dà la elettricità negativa. Lo stesso vetro se è scabro confricato sul vetro pulito si elettrizza positivamente o vitreamente. Due pezzi della stessa fettuccia di seta, confricati a croce, quello che lo è traversalmente prende la elettricità negativa ec.

La temperatura ha molta opera nella produzione di questi fenomeni, dappoichè si è veduto, che nelle medesime circostanze, un corpo tende a caricarsi più di elettricità negativa, quanto più si alza la sua temperatura. In generale un corpo tanto più viene elettrizzato vitreamente, quanto più l'altro affetta la elettricità resinosa o negativa, ed al contrario.

Le sostanze quì sotto notate acquistano la elettricità positiva quando sono confricate con quelle che le seguono, e la elettricità negativa con quelle che precedono:

1 Pelle di gatto	4 Piume	7 Seta
2 Vetro liscio	5 Legno	8 Gomma lacca
3 Stoffe di lana	6 Carta	9 Vetro smerigliato
		10 Solfo

Propagazione e facoltà conduttrice de' corpi per l'elettrico.

450. Il fluido elettrico non si propaga a traverso i corpi, ma corre veloce sopra le loro superficie, senza penetrar nella loro massa, il perchè i conduttori della macchina elettrica son fatti di lamine e non di masse metalliche. Ma non tutt'i corpi danno passaggio al fluido elettrico, nè tutti lo sviluppano facilmente con lo strofinio. La distinsione fatta da Gray in *conduttori* o *deferenti*, ed in *non conduttori* o *coibenti*, spiega la facoltà che hanno i diversi corpi, cioè gli uni di dar passaggio alla elettricità libera, gli altri di arrestarla, e perciò questi ultimi si son detti ancora *isolanti*, o *isolatori* dell'elettricità. Tra i primi, come meglio conduttori, vi sono compresi i metalli, molti minerali, i liquidi acquosi, l'acqua, le sostanze organiche umide, soprattutto le animali, il carbone di legno, l'aria e gli altri gas umidi ec.; e tra i secondi, come meno conduttori, vi sono, la gomma lacca, le resine, gli olei, il grasso, la lana, lo zolfo, la seta l'aria e gli altri gas secchi, e le stesse sostanze vegetali ed animali perfettamente secche ec. Nondimeno bisogna ricordarsi, che non ostante le più accurate sperienze fatte da'fisici, sinora niuno rapporto determinato e costante ha potuto rigorosamente stabilirsi fra lo stato elettrico de' corpi, e la loro facoltà conduttrice.

Nella tavola qui sotto, i meglio conduttori dell' elettrico son quelli che precedono o che sono più vicini al primo che è l'oro.

1 Oro.	15 Fumo
2 Argento	16 Acqua calda
3 Rame	17 Liquidi acquosi
4 Ottone	18 Vetro rovente
5 Platino.	19 Resine fuse
6 Ferro	20 La fiamma
7 Stagno	21 Sali metallici
8 Mercurio	22 Sali in generale
9 Piombo.	23 Fluidi animali
10 Altri metalli	24 Acidi
11 Miniere metalliche . . .	25 Soluzioni saline
12 Carbone	26 Vapore
13 Terre e pietre tenere. . .	27 Vuoto imperfetto
14 Vetro pieno di acqua bollente	28 Aria calda e gas secchi.

Tra questi corpi è da osservarsi, che i più deboli conduttori dell'elettricità sono destinati come *isolanti*. Oltre il vetro e le resine, i gas godono differentemente del potere isolante ad egual pressione, ma tal potere non dipende dalla loro natura e non è in rapporto con la loro densità specifica, quantunque spesso scemi

in ciascuno con la densità propria. Così il gas acido carbonico che è più pesante del gas idrogeno carbonato, è non ostante meno coibente di quest'ultimo. Si è poi osservato, che in generale il potere isolante è maggiore per la elettricità negativa che per la positiva; il perchè osservasi, che la distanza da cui scocca la scintilla elettrica, che si dice *distanza esplosiva*, è, a pari energia, o *tensione* elettrica, maggiore per la elettricità positiva, che per la negativa.

451. *Distribuzione della elettricità libera su i corpi*. I risultamenti dell'esperienza, confirmati dall' analisi matematica, permettono stabilire le seguenti considerazioni generali.

La elettricità libera è ritenuta alla superficie de'conduttori, su cui forma uno strato immensamente sottile, dalla resistenza dell'aria, perchè un corpo elettrizzato posto sotto il recipiente della macchina pneumatica, dopo fatto il vuoto, non possiede più alcuna tensione, dissipandosene l'elettricità a misura che diminuisce la densità dell'aria. Ne'corpi non condutiori eccitati, la elettricità vi è mantenuta dalla resistenza dell'aria, e da quella che li oppone lo stesso corpo coibente. Lo strato che la elettricità libera forma su i corpi conduttori, in generale varia nella tensione da un punto all'altro, secondo la forma de'corpi. Essa è la stessa per tutt'i punti d'una superficie sferica, ed è il solo caso in cui questa uniformità ha luogo. Nelle lamine prismatiche e ne' cilindri allungati, la tensione è sensibilmente uniforme sino ad un pollice dalla loro estremità. Nelle lamine circolari, le variazioni d'intensità si manifestano da 4 a 5 pollici dalle loro estremità, ed a partir da questo limite, essa cresce rapidamente, ma i punti più lontani hanno la stessa tensione. Queste osservazioni fatte da Coulomb, vennero confirmate dall'analisi. Così Poisson, partendo dal principio che le attrazioni e le ripulsioni elettriche hanno luogo in ragione inversa del quadrato delle distanze, e che in un corpo alla cui superficie la elettricità è in equilibrio, l'azione totale dello strato elettrico sopra un punto qualunque dell'interno del corpo dev'esser nulla, pervenne a fissar formole integrabili in qualche caso particolare, che rappresentavano la distribuzione dell' elettricità alla superficie de'corpi conduttori elettrizzati, le quali si trovarono perfettamente in accordo con i risultamenti numerici ottenuti con l'esperienza.

Una molecola di fluido che stà nella superficie di un corpo, dev' essere respinta da tutte le altre molecole dello stesso fluido libero che trovasi sparso su lo stesso corpo: la risultante di queste azioni è distrutta dalla resistenza dell'aria. Tutte le molecole che sono su la stessa parte della normale alla superficie esteriore che misura la spessezza dello strato, esercitano su l'aria la medesima forza ripulsiva; il perchè la resistenza totale opposta dall'aria, o la pressione dovuta al fluido elettrico, debb'es-

ser proporzionale al prodotto della spessezza dello strato per la forza ripulsiva che esercita una molecola di fluido; or il calcolo dimostra, che quest'ultima forza, o la risultante delle azioni ripulsive che una molecola di fluido libero prova da parte di tutte le altre, è essa stessa proporzionale alla spessezza dello strato della parte ove trovasi questa molecola. La pressione esercita da questo fluido su l'aria, o ciò che si chiama la *tensione* dell'elettricità libera, è dunque proporzionale al quadrato di questa spessezza.

Da queste osservazioni potè stabilirsi in generale, che in un corpo essenzialmente simetrico, come in una sfera, la spessezza dello strato elettrico è la stessa sopra tutt'l punti della superficie. In un cilindro, vi ha più elettricità verso le estremità; in un ellisse, la proporzione di elettricità aumenta più ancora alle estremità, ed in ultimo, nelle punte, questo strato elettrico si fa ancora più spesso, e perciò l'aria non oppone più ostacolo con la sua resistenza alla dispersione ed uscita dell'elettricità. Ne risulta quindi come conseguenza, che è possibile conservare il fluido elettrico ne'corpi a superficie sferica, e riesce al contrario difficile ritenervelo su le punte. Per questa ragione il conduttore della macchina elettrica si termina a palle negli estremi ove vuol ritenersi la elettricità che vi si è accumulata, ed a punte dalla estremità che deve riaverla dal disco confricato ec.

La pressione che lo strato elettrico esercita sull'aria, è proporzionale alla tensione degli atomi elettrici che sono nella stessa superficie, ed alla spessezza dello strato; e poichè ciascuno di questi elementi è proporzionale all'altro, deve di conseguenza esser la pressione esercitata contro l'aria proporzionale al quadrato della spessezza dello strato elettrico o al quadrato della tensione.

Ipotesi con le quali si è cercato dare ragione de' fenomeni elettrici.

452. Ignorandosi assolutamente la causa prima dell'elettricità, a fin di spiegare e coordinare fra essi i differenti fenomeni confirmati dall'esperienza, fa duopo servirsi di un ipotesi che meglio possa sodisfarvi, per unirli quanto è possibile sotto una legge generale, senza però darvi tanta importanza, tenendola solo come mezzo più atto a scoprirne altri per fissarne i rapporti con que'già conosciuti; persuasi, che la teorica fisica dell'elettricità si compone presentemente di più gruppi di fatti attentamente osservati, e ciascuno di essi è ben definito per servire ad un ipotesi particolare; ma abbenchè alcuni fenomeni passaggieri provassero che questi gruppi separati possono rapportarsi ad un origine comune, nondimeno non si è potuto ancora fissare un ipotesi unica che possa tutti comprenderli.

La generalità de' fisici pare che ora ristringa a due i modi di considerare la cagion prima de' fenomeni elettrici. Alcuni credono poter questa derivare da uno o due fluidi particolari, altri pensano potersi tal cagione ripetere da sviluppo di forze inerenti alla stessa materia ponderabile, svolte per una cagione qualunque, considerando i fatti numerosi attribuiti all'elettricità, come effetto di queste azioni diverse, modificate dal movimento relativo dell'etere e degli atomi de' corpi.

La opinione ora dominante è quella de' primi, e solo discordano i fisici nel doversi ammettere un sol fluido elettrico che opera per ripulsione sopra se stesso, e per attrazione su la materia ponderabile, ovvero due fluidi distinti che operano per ripulsione se sono simili, e per attrazione se sono contrarii. Quest'ultimo modo di spiegare i fenomeni elettrici apparisce vantar maggior numero di partigiani.

453. *Ipotesi di Eulero*. Eulero suppose un fluido etereo inegualmente distribuito ne' corpi, il quale si manifestava quando questi erano confricati, e perchè esso tendeva all' equilibrio, nel passar da un corpo all' altro produceva i fenomeni elettrici.

454. *Ipotesi di Dufay*. Si è detto al §446, che Dufay ammise pel primo due fluidi elettrici, cioè *vitreo* e *resinoso*, nomi che trasse da'corpi vitrei e resinosi da' quali sviluppavansi detti flùidi col fregamento. Per dare poi ragione de' fenomeni elettrici, egli ammise, che i corpi caricati con lo stesso fluido sono respinti, e caricati con fluidi contrarii sono attirati.

455. *Ipotesi di Franklin*. Beniamino Franklin, in una memoria stampata a Filadelfia nel 1727, ammise come Eulero, che tutt'i corpi della natura contengono una quantità più o meno grande di un fluido particolare, di natura ignota, molto elastico e ripulsivo nelle sue molecole, il quale opera per ripulsione sopra se stesso, e per attrazione su la materia ponderabile. Ciascun corpo deve contenere una certa quantità di questo fluido, chiamato *elettrico*, la quale dipende dalla massa del corpo, e dalla sua natura, affinchè vi abbia equilibrio elettrico tra questo corpo e quelli che lo circondano. Più cagioni accidentali, e tra queste particolarmente lo strofinio, possono aumentare ovvero diminuir questa quantità necessaria per l'equilibrio, ed il corpo allora è elettrizzato *positivamente* se ne riceve un aumento di fluido oltre quello che contiene, o *negativamente* se perde una porzione del suo fluido naturale, al che son dovute le espressioni di *elettricismo positivo* o in *più*, e di *elettricismo negativo* o in *meno*, usate da Franklin per indicare i due stati opposti di elettricismo. In questa ipotesi la elettricità *positiva* di Franklin corrisponde all'ettricità *vitrea*, e la *negativa* alla *resinosa* di Dufay.

456. *Ipotesi di Volta*. Conoscendo Volta che la ipotesi di Franklin meglio si prestava alla spiegazione de' fenomeni elet-

trici, l'adottò di preferenza dell'altra detta *simmeriana*, facendovi solo alquante modificazioni. Così la forza ripulsiva, che si ammette da' simmeriani esistere tra le molecole di un dato fluido al momento che questo si sviluppa, e che tende insieme ad allontanarle dal corpo in cui è, veniva parimente da' franklinìani ammessa, ma Volta dimostrò, che questi fenomeni potevano spiegarsi egualmente col solo principio della forza di attrazione; supponendo esservi tra le parti di questo fluido e la materia ponderabile in generale, un attrazione, di cui solo ne ignorava le leggi; ma che nondimeno poteva ammettersi, dover essa sempre operare a distanze assai minime, potendo anche estendersi a distanze alquanto più sensibili, cambiandosi nelle minime talvolta in ripulsione per rapporto ad alcuni corpi, particolarmente a que'che si son detti coibenti. Così presentato questo fluido ad un corpo che ne fosse assolutamente privo, si diffonderebbe entro il medesimo rapidamente ed eguabilmente in tanta copia, quanta ne occorrerebbe per saturar la reciproca loro attrazione, e mettersi in equilibrio con quello de' corpi circostanti, per ridursi in tutti ad egual densità: il corpo in siffatto modo supposto saturato di fluido elettrico, si direbbe in istato naturale (1).

Quanto poi all'ostacolo che ritiene il fluido, affinchè non abbandoni la superficie del corpo, sul quale l'elettrico si è diffuso, Volta lo ripetè dall'aria o da altro corpo coibente che lo circonda. Tale ostacolo o sforzo che l' aria opera per così ritenerlo, egli lo disse *forza di pressione*, e perciò se questa pressione è maggiore di quella con cui il fluido tenta ad abbandonare il corpo, questo lo riterrà; ma s'è minore, l'elettrico dovrà fuggirsene. Siccome poi la resistenza che l' aria fa per impedir questo suo allontanamento, dev' essere in ragione della maggiore superficie, perciò nelle punte in cui l' elettrico più si accumula che in qualunque altra parte del corpo elettrizzato, per esse maggiormente tende a fuggirsene, ed a vincer la resistenza dell'aria.

(1) Per dare una idea dell'opera di questa attrazione nell' esempio di due piccoli pendoli isolati ed elettrizzati positivamente o negativamente, che si ripellono, Volta spiegò il fenomeno della ripulsione col mezzo dell'attrazione. Se sono elettriei positivamente, l'aria interposta tra i due pendoli, rimanendone più saturata di quella esterna, fa si ehe questo gli attira a se per la forza di attrazione che ha l'aria pel fluido elettrico. Se sono poi elettrizzati negativamente, essendo i pendoli mancanti in parte dell'elettricismo naturale, debbono in conseguenza essere attratti fortemente dal fluido de'corpi che più ne abbondano, ossia che ne sono più saturati: quella parte d'aria ehe si trova interposta ad essi pendoli negativi, essendo attuata ad elettricità negativa da'medesimi, si trova men saturata di qnella esterna attuata ad uno de' predetti pendoli. Questi pendoli dunque, saranno più attratti verso lo strato di aria eaterna, che verso quello dell'interno; il perchè scostandosi per quest' azione di forza attrattiva, sembreranno repellersi, eome nel caso di quando erano elettrici positivameute nel modo precedente.

457. *Ipotesi di Symmer*. Roberto Symmer, modificando l'ipotesi di Dufay, ammise come questo due fluidi elettrici distinti, ma contenuti entrambi in tutt'i corpi, non già l'uno ne'corpi vitrei, l'altro ne'corpi resinosi, come supponeva Dufay. E conservandoli gli stessi nomi di *vitreo* e *resinoso*, riteneva parimente che le molecole dello stesso fluido si repellono, e quelle de'fluidi contrarii si attraggono. Quando poi i due fluidi sono uniti insieme in un corpo, questo allora dicesi nello *stato naturale*, e i due fluidi così combinati assumono il nome di *fluido naturale*, o *elettricità combinata*. In questo stato un corpo non dà segni di alcuno elettricismo, ma quando essi vengono separati, o scomposto il fluido naturale, sia col fregamento, che con altri mezzi, il corpo confricato acquisterà dal corpo confricante o una nuova quantità di fluido vitreo, col comunicare a questo una parte del suo fluido resinoso, ovvero acquistando nello stesso mentre il primo e perdendo il secondo, ed al contrario: allora i fenomeni elettrici hanno luogo, ed il corpo dicesi *eccitato*, cioè *elettrizzato positivamente*, o *negativamente*, secondo che in esso eccede il fluido vitreo, ovvero il fluido resinoso.

Nell'ipotesi Simmeriana dunque, il fluido elettrico è composto di due fluidi distinti, sparso per tutt'i corpi, essendone poi la terra il serbatojo universale. Lo stato elettrico naturale de'corpi, è lo stato di combinazione di essi fluidi, e perciò allora non manifestano segni di alcun elettricismo libero, ma se questo stato cambia, i due fluidi scomposti si mostrano isolati, ed allora osservasi che i simili si ripellono ed i contrarii si attraggono, perchè quando son combinati, l'uno occulta la presenza dell'altro. L'elettrizzarsi de'corpi, secondo questa ipotesi, altro non è che la scomposizione del fluido naturale o composto, e lo svolgimento di una parte di quello che apparisce libero.

458. Le voci intanto *positivo* e *negativo*, sono da preferirsi per dinotare i due fluidi *vitreo* e *resinoso*, dappoichè non solo questo genere di opposizione tra le elettricità svolte dal vetro e dalla resina tendono a darne un idea poco esatta, mentre questa proprietà non si appartiene esclusivamente al vetro ed alla resina, e dippiù è ancora possibile far prendere a ciascuna di queste sostanze l' una o l'altra delle due elettricità, ma niun'altra espressione che quella di *fluido positivo* e *fluido negativo* meglio si presta per paragonarli alle quantità matematiche dello stesso genere, affettate da segni contrarii di *più*+, e—,*meno*, che si distruggono in tutto o in parte per la loro addizione, secondo il loro rapporto di grandezza, e di cui la più grande produce un resto che viene affettato dal suo segno meno. Questi nomi, adottati da Franklin, non debbono confondersi con quelli che dinotano nella ipotesi Simmeriana due fluidi distinti, perchè si è detto che nell'ipotesi di un sol fluido, la voce *positivo* dinota che ve

n'è più in un corpo, e la *negativa* meno. Nondimeno ora si usano in Francia le voci vitreo e resinoso, ed in Italia, che si ritiene ancora la ipotesi di Fraklin, si usano nel senso datoli da quest'ultimo, le voci *elettricità positiva* ed *elettricità negativa*, il perchè non deve confondersi l' uno o l'altro modo di esprimerle, essendone il significato differente.

459. *Ipotesi de' fisici Francesi*—I fisici francesi ritenendo quella di Dufay, modificata da Symmer, ammisero che tutt' i corpi contenevano un fluido particolare di natura ignoto, imponderabile, che chiamarono *fluido naturale*, essendone il globo terrestre, come ammetteva pur Franklin, il serbatojo generale, che dissero *serbatojo comune*. Il fluido naturale si componeva de'fluidi *vitreo* e *resinoso*, i quali avendo grande tendenza nel combinarsi quando erano separati con un mezzo qualunque, producevano in questo caso i fenomeni elettrici. In questa ipotesi ritenevasi similmente, che i fluidi dello stesso nome si respingono, e quelli di nome contrario si attraggono, e perciò nel primo caso si aveva ripulsione, e nel secondo l'attrazione elettrica.

460. *Ipotesi di Œrsted*. In questa ipotesi non si ammette un fluido elettrico particolare sia semplice ovvero composto di due fluidi, ma invece, sarebbero le due forze primitive l'*attrazione* cioè e la *ripulsione*, inerenti alle molecole della materia ponderabile, che producono i fenomeni elettrici. Fusinieri, ritenendo anche la non esistenza di un fluido particolare, considera le due opposte elettricità come due *forze* inerenti alla materia, eccitate con mezzi particolari. La stessa materia attenuata e ridotta in uno stato di sostanza raggiante, può stabilirsi in correnti ed essere anche il principio delle due elettricità.

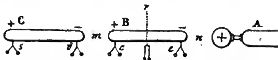
461. Con le ipotesi esposte, si è dato più o meno ragione dei così svariati fenomeni elettrici sinora osservati. Quella di Dufay, modificata da Symmer, e l'altra di Franklin, modificata da Volta, si sono ritenute di preferenza. La prima è ora più generalmente seguita in Francia, in Inghilterra ed in altre contrade, e la seconda ancora si sostiene da alcuni in Italia, ove le scoperte del Volta e di Galvani fissarono le vere basi della scienza elettrica. Le ragioni che gli uni adducono in confutazione dell'ipotesi che rigettano, non sono abbastanza convincenti, e perciò ripeteremo, che non essendo nè l'una nè l'altra esente da imperfezioni, riuscirebbe superfluo ogni confronto; osservando solo, che siccome quella che ammette due fluidi meglio si presta al calcolo, che l'altra di un sol fluido, è ora creduta meno imperfetta dell'ultima. Epino, Cavendisch, e soprattutto Robinson, tentarono con qualche successo sottoporre al calcolo i fenomeni elettrici considerati nell' ipotesi di Volta, ma perchè essi ebbero a ricorrere alla supposizione di una ripulsione tra le molecole del fluido elettrico, e per determinar l'equilibrio di questa for-

za, all'ipotesi di una forza ripulsiva scambievole anche tra quelle della materia ponderabile, lo stesso Epino trovò dopo esser tale supposizione in diretta opposizione coll'attrazione newtoniana. Che se a ciò si aggiunga, che con l'ipotesi di Volta alcuni fenomeni non facilmente si spiegano, ed altri forzatamente, col crear sempre nuove ipotesi; senza entrare in altre osservazioni, conchiuderemo, che non presentando nè l'una, nè l'altra que' caratteri che addimandano i principii rigorosi e generali di una esatta ed irrepugnabile teorica, si è creduto perciò presceglier quella che si presenta più facile alla spiegazione de'fenomeni sinora osservati, quale appunto è la ipotesi simmeriana, e soprattutto perchè meglio corrisponde ne'suoi risultamenti a'calcoli dell' analisi matematica, che l' altra modificata dal Volta, lasciando poi chiunque l'arbitrio di seguir la ipotesi che più stima persuaderlo. *Stat pro ratione voluntas.*

Elettricità d' induzione o per influenza.

362. Il principio generale dell' elettricità d' *induzione*, o per *influenza*, cioè quella che opera a distanze più o meno sensibili, viene così enunciato: *Un corpo elettrizzato o eccitato, scompone a distanza le elettricità naturali di tutt' i corpi conduttori.*

Or poichè ciascun fluido, vitreo o resinoso, attira costantemente nella parte più prossima alla sua sfera di attività il fluido contrario, le attrazioni e ripulsioni che ne derivano, hanno luogo non solo su i fluidi liberi già scomposti o separati, ma ancora sopra i fluidi combinati. Quindi un corpo conduttore può nel suo stato normale, ovvero di elettrizzamento *indotto*, costituirsi in uno stato elettrico particolare, il quale deriva dalla cagione agente a cui è sottoposto, e che cessa col cessar della cagione. Questa elettricità prodotta a distanze comprese nella sfera di attività, che dicesi *atmosfera elettrica*, venne detta dal Volta per *attuazione*, dal Faraday per *induzione*, e da fisici francesi per *influsso*.



Suppongasi che il primo conduttore A trovisi caricato di elettricità vitrea o positiva ; se il conduttore B vi si tiene ad una certa distanza, si troverà elettrizzato per influenza dell' elettricità positiva del conduttore A. Il fluido resinoso del conduttore B essendo attirato nella estremità *n*, il fluido vitreo verrà respinto nell'altra estremità *m*, come potrà provarsi sospendendo alle

due estremità i piccoli pendoli *c-e*, i quali nel respingersi, proveranno che sono caricati da uno stesso fluido. Che se poi si allontani da A il conduttore B, ogni effetto elettrico cessa sull'istante, e le palline de' due pendoli si vedranno congiungere un'altra volta, perchè i due fluidi *n m* si combineranno per riprodurre la elettricità naturale nel conduttore B, che erasi separata o scomposta per l'influenza del conduttore A; dal che deducesi anche come principio generale, *che i corpi elettrizzati per influsso tornano allo stato primitivo nel momento che l' influsso cessa.*

La elettricità per influenza può propagarsi ad un seguito di più conduttori. Così l'elettricità di B può scomporre il fluido naturale del nuovo conduttore C, e produrre gli stessi effetti ripulsivi ne'due piccoli pendoli *s v*, ed il conduttore C potrà operare similmente sopra altri conduttori. Rimane solo qui a far notare, che nella scomposizione dell' elettricità naturale prodotta per influsso, la carica elettrica che ne risulta, è maggiore di quella del primo conduttore che la cagiona, perchè essendo la estremità *n* del conduttore B caricata di elettricità resinosa, questa scompone una parte dell'elettricità naturale dello stesso conduttore A, e l'aumento di *carica* elettrica che ne risulta in A, determina una nuova scomposizione di fluido naturale in B, il quale dal suo canto reagisce sul conduttore A, e così succedono un seguito di parziali scomposizioni sino che la carica elettrica aumenta al punto in cui l'equilibrio venga ristabilito. I segni + e — che sono su i conduttori, dinotano le elettricità separate per opera dell' induzione, cioè la *positiva* e la *negativa*.

463. Un altro fenomeno presentano i conduttori BC così l'elettrizzati per influsso, ed è, che quantunque da essi possa trarsene l'una ovvero l'altra elettricità ne'due estremi, ove si mettano poi in comunicazione del suolo, non potrà sperimentarsene che una solamente. Questo fatto, che richiamò l'attenzione de' fisici, venne anch'esso considerato come principio generale che deriva dalla scomposizione dell'elettricità di un conduttore per influsso, il quale poi nel suo sviluppamento presenta fenomeni complicatissimi, quando le elettricità naturali del conduttore B sono scomposte dal conduttore A, che consideriamo quello di una macchina elettrica ordinaria o di altro conduttore eccitato; il fluido resinoso essendo portato nella estremità *n* del conduttore B, il fluido vitreo verrà come si è detto respinto in *m*. Nella metà del conduttore trovasi un punto da cui partono le due elettricità contrarie, che dicesi *linea neutra*, ed è quello segnato dalla linea *r*, la quale separa le due *regioni elettriche*, cioè la resinosa, compresa fra *rn*, e la vitrea fra *rm*. Or se questo conduttore che ha la elettricità *indotta*, cioè sviluppata per influsso, si tocchi colla mano o col *piano di prova* di Coulomb, che consiste in un piccolo cerchio di laminetta di oro o di argento falso fis-

sato ad un bastoncino di gomma lacca, ovvero con altro piccolo conduttore elettrico, si avrà la elettricità resinosa in tutta la lunghezza compresa nella ragione *r n*, e la vitrea ove tocchisi nella direzione dell'altra ragione opposta *r m*, ma non si avrà elettricità sensibile nella direzione, o nel punto della linea neutra *r*, in modo che ove in questa direzione vi si ponesse sotto un piccolo pendolo, come quelli che sono nelle estremità *n m*, si vedrebbe esso rimanere in quiete. Se poi in vece di toccare il conduttore B, si metta questo in comunicazione del suolo col mezzo di una catena metallica, ove questa stessa dal lato della regione vitrea, tutto il fluido di questa natura passerebbe al suolo, ed il fluido resinoso della regione opposta rimarrebbe in totalità, perchè tenutovi dall'attrazione del fluido contrario, cioè dal vitreo del conduttore A della macchina. Lo stesso succede se la comunicazione col suolo si fa dalla regione resinosa, perchè anche il fluido vitreo passa al suolo, ed il resinoso rimane nella sua totalità come nell'altro caso. Questo fenomeno, che dapprima sembra difficile a spiegarsi, è conseguenza della elettricità per influsso che opera tanto sul conduttore B, che su la catena che comunica col suolo; dappoichè la elettricità naturale della catena è anch'essa scomposta per influsso allo stesso modo del conduttore B. Il perchè deve seguirne, che il fluido vitreo del conduttore della macchina permette al fluido resinoso di essere attirato sul conduttore B; ivi esso diffondendovisi, neutralizza tutto il fluido vitreo che v'incontra, ed il fluido resinoso dello stesso conduttore deve rimanere intatto, e sottoposto all'influenza dell'attrazione del fluido vitreo del conduttore A, che ne produsse la primitiva sua separazione, respingendo il fluido simile nella estremità *m*. Or da'fatti esposti, che riesce facile verificare, rileviamo ancora, che dal conduttore libero B può estrarsi tanto l'una che l'altra elettricità nelle due regioni che sono fuora la linea neutra, o *punto statico*, come lo stesso succede nel conduttore posto in comunicazione col suolo, traendo la vitrea col toccar la catena col *piano* di *prova*, e la resinosa col toccar la parte compresa fra la regione *rn* dello stesso conduttore. Ma nella linea neutra *r* non potrà trarsi alcuna elettricità sensibile, lo che mena a dedurne, che ne'corpi isolati di piccole dimensioni, non potrebbe manifestarsi nè l'uno nè l'altro de'due fluidi citati, comunque essi avessero la elettricità indotta, la qual cosa poi deve in molte circostanze rendere i fenomeni prodotti dall'elettricità per influsso più o meno complessi.

464. Per conoscere in questi casi se un corpo elettrizzato ha la elettricità di *carica* o *condotta*, ovvero quella sviluppata per influsso o *indotta*, basta osservare, se allontanato il corpo da quello a cui trovasi vicino, rimane o no nello stato di elettrizzamento libero o statico. Nell'affirmativa, la elettricità è la condotta o

di carica, ed al contrario è la indotta, o quella sviluppata per influsso.

465. Poisson pervenne a determinar le equazioni generali della distribuzione de' fluidi su la superficie de' buoni conduttori posti sotto l' influenza mutua, per mezzo della condizione seguente, che deve essere sempre sodisfatta nello stato d' equilibrio: « quando più corpi conduttori elettrizzati son posti sotto l'influenza mutua, e son pervenuti in uno stato elettrico permanente, la risultante delle azioni degli strati elettrici sopra un punto qualunque, preso nell' interno di uno di essi, è nulla ». Questo principio, cosi fissato da Poison, è evidente, dappoichè se lá risultante di queste azioni non fosse nulla, essa produrrebbe una nuova scomposizione del fluido naturale, e lo stato elettrico dovrebbe cambiare, il che è contrario all' ipotesi di uno stato elettrico permanente. Questo principio, tradotto analiticamente, somministra altrettante operazioni che la quistione presenta d'ignoti; ma sin qui le equazioni non si sono sciolte che nel caso particolare di due sfere poste in contatto o in presenza a piccola distanza l'una dall' altra, dopo averle antecedentemente caricate di una quantità qualunque di elettricità. Il calcolo conduce a gran numero di risultamenti, i quali possono comprovarsi con l'esperienza.

466. Ma la elettricità indotta o per influsso, ammessa da'fisici come dipendente da un'*azione a distanza*, presenterebbe forti ostacoli per potersi revocare in dubbio, dopo le più recenti sperienze di Faraday, comunicate all'Istituto di Londra. Egli ha dimostrato, che la induzione non avviene, come erasi creduto, a distanza, cioè nello spazio dell'*atmosfera elettrica* fra conduttore e conduttore, ma essa invece avrebbe effetto coll'intermezzo dei corpi. Ecco le sperienze che comprovano il suo assunto. Si metta nell'interno di un vaso cilindrico di metallo una pallina anch'essa di metallo bene isolata, ed elettrizzata; essendo il vaso in comunicazione di un elettroscopio a foglie di oro, non appena la pallina e interamente introdotta nel mezzo dell' ambiente del vaso, si vedranno subito divergere le foglie di oro. Che se la palla tocca le pareti interne del bocale, l'elettroscopio non diverge nè più nè meno di prima, ma la pallina ha perduta la sua elettricità condotta, cioè libera o statica, lo che prova, che la elettricità che è indotta dalla pallina all'elettroscopio, e quella che possiede la pallina, sono effettivamente equivalenti in quantità ed in potere. E comunque sia la posizione della palla nell'interno del vaso, e che si trovi più o meno avvicinata al suo fondo, ovvero a'lati, la divergenza nell'elettroscopio rimane sempre la stessa. Egualmente succede ovedispongansi più vasi isolati da lamine di gomma lacca che separino il fondo di ciascuno dei vasi dal fondo del seguente, o che si facciano comunicare fra lo-

ro mediante conduttori metallici, considerandoli in tal caso come un solo vaso metallico di grosse pareti. Che se poi il bocale si metta sopra un isolatore, e si elettrizzi internamente, si troverà per mezzo del *piano di prova* descritto più innanzi, che la superficie curva dell'interno possiede una elettricità, e la superficie esterna circondante sarà carica di elettricità contraria. Il che proverebbe, che la elettricità interna della boccia di Leida *induce* la elettricità esterna pel mezzo dell'aria. (*Archivii d'Elettricità. Ginevra N.° 11.1844.*

Teorica dell'elettricità d'induzione.

467. La nuova teorica dell'elettricità detta d'influenza, d'induzione, o a distanza, fu stabilita da Faraday dopo le seguenti sperienze.

Si prende un cilindro di gomma lacca e si situi sopra un piede di legno terminato superiormente da una cavità destinata a contenere una palla metallica di un pollice di diametro.

Si elettrizzi la parte superiore del cilindro, e si ponga nella cavità la palla per mezzo d'un isolatore; se allora si porti a contatto dei diversi punti della gomma-lacca e della palla, la pallina mobile della bilancia di Coulomb, mettendo nell'istante del contatto i due corpi in comunicazione col suolo, si troverà, che la pallina separata e portata col suo manico isolatore, avrà già acquistato, per induzione, la elettricità positiva, contraria a quella della gomma-lacca. Queste cariche d'iuduzione che prende la pallina mobile della bilancia, toccando in diversi punti la palla posta sopra il cilindro, hanno una diversa intensità, ma non può porsi in dubbio, che pei punti superiori della palla, l'elettricità acquistata dalla pallina mobile è dovuta all'induzione che esercitasi in linee curve per le molecole contigue dell'aria. Così elettrizzando un bastone di gomma-lacca, ponendovi sopra un disco metallico, si troverà distrutta l'influenza elettrica nei punti superiori del disco, coucentrici a quelli del bastone, mentre non osservasi lo stesso nei punti laterali. Il che prova che l'elettricità si propaga per linee curve a traverso le molecole dell'aria che circonda il disco.

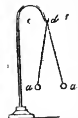
Ma meglio Faraday dimostra la sua teorica per mezzo di quell'esperienza ch'egli chiama *capacità specifica d'induzione.* Siano tre dischi metallici sostenuti da un sostegno isolatore, e posti tra loro ad egual distanza e nel medesimo piano. Elettrizzando quello di mezzo, si avrà, che per la simmetria di posizione, l'effetto elettrico d'influenza su i dischi rilevati, sarà perfettamente eguale; ma se s'interponga un corpo coibente, per esempio una lamina di zolfo, o di gomma-lacca, non avverrà più lo stesso. Il disco laterale difeso dalla lamina, risentirà una maggiore influenza

che l'altro, di modo che se la lamina interposta è di gomma-lacca e non di altra resina o di zolfo, l'influenza risentita sarà doppia di quella che osservasi allorchè non havvi interposta che una sola lamina d'aria; il che avveniva nella prima prova. Quest'apparecchio Faraday lo chiamò *induzionometro differenziale*. Belli ottenne contemporaneamente, per diversa via, gli stessi risultamenti. Operando poi con diversi gas, ebbe i medesimi fenomeni, e la capacità specifica d'induzione non cambiò sotto le loro diverse densità e temperature. Faraday osservò ancora, che se il corpo su cui si sviluppa l'elettricità per influenza è conduttore, la sua grossezza non influisce niente. Una foglia d'oro esposta in distanza all'azione elettrica d'un corpo elettrizzato, acquista nelle due facce elettricità contrarie. All'incontro, interposto un coibente tra il corpo elettrizzato per induzione, e l'altro elettrico realmente, la grossezza ha una gran parte sulla quantità d'elettrico che così sviluppa. Egli dunque conchiude da questi fatti, che non è l'effetto d'influenza per la distanza, ma per il corpo interposto che trasmette l'azione per le sue parti contigue, ossia per una modificazione, prodotta nelle molecole del coibente, o per un certo stato di polarizzazione delle stesse molecole.

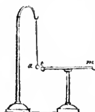
Il fatto dell'induzione è un principio generale di tutt'i fenomeni elettrici. Non vi è carica, non sviluppo d'elettricità, non produzione di corrente elettrica senza questo. La scoperta dunque di Faraday non porta che il principio di continuità d'azione elettrica operata tra i due corpi per mezzo del corpo coibente intermedio, talchè con questa scoperta ben rappresentandosi la scarica elettrica, lo scopo par che sia raggiunto; ma ve n'è un altro a farsi ed è, che siccome le molecole dei corpi non si toccano, dovrebbe ammettersi un'azione tra la distanza di queste molecole, il che non potrebbesi stabilire senza un'altra ipotesi.

Attrazione e ripulsione elettrica, e sua legge fondamentale.

468. Confricando fortemente con una stoffa di lana asciutta un cilindro di vetro, ed accostandolo subito dopo ad una pallina di midollo di sambuco, sospesa con un filo di seta per tenerla isolata, la pallina si vedrà prima attirata, e poi respinta. Lo stesso succede se invece di vetro si adoperi un bastone di resina, di solfo ec., e se lo sperimento si fa con le due palline $a\,a'$, sospese in d a paralellismo, isolate dal filo di seta, come la precedente, le palline caricate con lo stesso fluido sia vitreo che resinoso, si vedranno respingere. Ma se la ripulsione si è avuta con la elettricità del vetro, accostandovi un bastone di resina, le palline verranno atti-

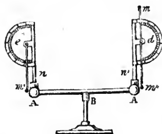


rate: lo stesso succede ove la ripulsione nella pallina si fosse operata con la elettricità svolta dalla resina, perchè accostandovi il vetro avverrebbe parimenti attrazione. Ed in ultimo, se la pallina *a*, che vedesi nella figura, si accosti al conduttore *m* isolato, dopo aver l'una e l'altro elettrizzati separatamente, la prima col fluido positivo, ed il conduttore col fluido negativo, o al contrario, quando si porranno ad una certa distanza, si vedrà la pallina *a* portarsi sul conduttore *m* perchè vi ha attrazione de' due fluidi contrarii; ma se la pallina ed il conduttore si elettrizzino anche separatamente, sia col fluido vitreo, che col fluido resinoso, posta la prima a poca distanza dal secondo, si avrà ripulsione, perchè sono elettrizzate con uno stesso fluido. Questi fenomeni possono aversi anche con lo *scampanio elettrico*, e con altri apparecchi, che descriveremo appresso.



I fenomeni di attrazione e ripulsione elettrica seguono una legge costante, scoperta da Coulomb, cioè, *che le attrazioni e ripulsioni elettriche sono in ragion composta delle quantità di fluido, ed in ragione inversa del quadrato delle distanze*. Questa legge, ritenuta come esatta, venne provato da Harris non esser tale nei casi in cui le forze elettriche fossero assai piccole. E Faraday osservò dopo, che l'azione elettrica complicavasi mercè quella del mezzo coibente intermedio a' due corpi fra quali si operava.

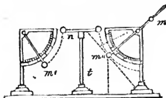
469. Può verificarsi la legge delle ripulsioni elettriche col mezzo dell' apparecchio rappresentato dalla figura qui sotto. Sia un conduttore di lamina metallica A A', terminato da due sfere, ed isolato dal cilindro di vetro B, che serve di piede. Su le due palle A A' vi sono fissate due aste metalliche *nn'* che hanno due semicerchi *d e*, divisi in 180 parti equali, al cui centro stà sospeso in ciascuno di essi, sopra un asse orizzontale mobile, un piccolo pendolo isolato, che si prolunga di una quantità eguale da ciascun lato dell' asse di sospensione, e che porta nell'estremità una pallina di midollo di sambuco *m' m''*, perfettamente eguali, essendovi però in uno di questi pendoli, sul suo prolungamento in alto, la pallina *m*, eguale alle altre due prime. Per siffatta disposizione de' due pendoli, si produce lo stesso effetto che se la pallina *m'* avesse un peso più piccolo, e che facendo muovere l'altra *m*, che è in alto, lungo il filo a cui è attac-



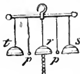
cata, può farsi variare a volontà il peso del pendolo; dal che ne segue, che in ciascuna posizione della pallina *m*, il pendolo opera come se la pallina *m*, che li è sotto, fosse posta ad una distanza dall'asse, eguale alla metà della differenza delle distanze delle palline *m' m''* al punto di rotazione.

Così disposto l'apparecchio, supponiamo che al conduttore AA' se li dia una carica qualunque; le palline *m' m'* acquisteranno la stessa tensione, e perciò si allontaneranno sino che la gravità che le sollecita a cadere, faccia equilibrio alla forza ripulsiva dell'elettricità; ma non avendo i due piccoli pendoli lo stesso peso, si allontaneranno inegualmente. Misurando il loro allontanamento su i due quadranti, e calcolando quello che dovrebb' essere nell'ipotesi in cui la forza ripulsiva seguirebbe la ragione inversa del quadrato della distanza, si troverà l'accordo più perfetto con i risultamenti dell'esperienza.

470. Per trovar la legge delle attrazioni, l'apparecchio si dispone come vedesi nella figura, adoperando per la pallina *m* che è destinata a far variare il peso del pendolo *m''*, e che perciò essa può scorrere liberamente sul filo di sospensione, una sostanza non conduttrice dell'elettricità, a fin di evitare l'azione della palla del conduttore sopra quella del piccolo pendolo, che agirebbe in senso contrario di quello che essa esercita su la pallina *m''*.

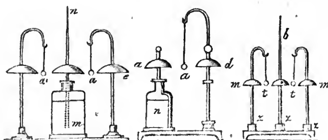


471. Gli stessi fenomeni di attrazione e ripulsione handato luogo a più apparecchi che si destinano sovente a giuochi fisici. Così il *cariglione*, o *scampanio elettrico* produce un suono per effetto dell'attrazione e ripulsione. Consiste esso in un cilindro o lamina metallica orizzontale, che si sospende sull' estremità del conduttore della macchina elettrica. Esso porta nelle due estremità due campanette *t s* sospese ad una piccola catena o filo metallico; al centro vi è la terza campanetta *r*, sospesa ad un filo o laccio di seta per tenerla isolata, ma essa deve comunicar col suolo, perchè produca l' effetto, e perciò vi si attacca una piccola catena metallica che si fa comunicare col suolo; ed in ultimo, tra le campanette vi sono sospese ad un filo di seta le due palline di metallo *p p*, le quali operano come il pendolo elettrico. Quando il conduttore della macchina elettrica trovasi elettrizzato, le due campanette *ts* che lo sono parimenti, perchè formano continuazione dello stesso conduttore, attirano i due piccoli pendoli *p p*, i quali caricati con la stessa elettricità, sono



respinti, e vanno a scaricarla su la campanetta centrale *r*, che comunica col suolo; quindi sono attirati e respinti come prima, e così successivamente facendo i pendoli risuonare ogni volta le campanette, al che va dovuto il nome di *cariglione*, o *scampanio* elettrico dato all'apparecchio descritto.

Questo effetto, vien prodotto similmente con infiniti altri apparecchi. Così nelle figure qui sotto, vedesi nella prima, la



boccia di Leida *m*, il cui conduttore termina in *n* a punta e porta nel mezzo una campanetta. A canto alla boccia, vi sono le altre due campanette poste sopra conduttori con piede, curvati in alto per tenervi sospesi ad un filo di seta i due piccoli pendoli *a a'*. Quando il conduttore della macchina avrà caricata la boccia, i pendoli saranno attirati su la sua campanetta e respinti sopra le altre accanto, scaricandovi la elettricità che vien portata al suolo, riproducendosi successivamente allo stesso modo le ripulsioni ed attrazioni de' due pendoli *a a'*, i quali urtando contro le tre campanette, le fanno risuonare come nell'altro apparecchio descritto.

Nella seconda figura, la boccia *n* si suppone già caricata di elettricità, e non appena è posta a poca distanza dal piccolo pendolo *a*, questo verrà attirato dalla campanetta *n* della boccia e respinto su quella su cui è sospeso, essendone dipoi trasportata nel suolo la elettricità comunicata alla campanetta *d*.

La terza fig. ha nel mezzo la campanetta col conduttore che termina in *b* a punta, per ricevere la elettricità dalla macchina elettrica, ma esso è isolato sopra il sostegno di vetro *z*. A canto vi sono i soliti pendoli *t t* isolati dal filo di seta, che battono, quando sono respinti dalla campanetta di mezzo, sopra le altre due accanto *m m'*, le quali comunicano col suolo per mezzo de' loro sostegni di metallo *z z*.

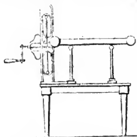
La *dansa elettrica* è un fenomeno anche di attrazione e ripulsione elettrica. Tutt'i corpi conduttori isolati che si mettono in contatto col conduttore di una macchina elettrica, operano co-

me continuazione dello stesso conduttore. Quando se li avvicini un corpo elettrizzato, questo sarà attirato ovvero respinto secondo che esso avrà lo stesso fluido, o il fluido contrario di quello della macchina. E poichè si è detto, che la elettricità si diffonde su la superficie de'conduttori, si suole aumentar questa nelle macchine sospendendo a corde di seta più conduttori di legno o di cartone di più o meno grandi dimensioni, coverti con una lamina sottile di stagno. Lo stesso osservasi quando un uomo si mette sopra una seggiuola o tavola che ha i piedi di vetro per isolarla dal suolo, che comunemente dicesi *scanno isolatore*, perchè potranno dall'uomo trarsi le scintille dalle differenti parti del suo corpo, come dallo stesso conduttore della macchina ec.

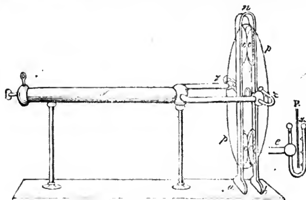
Elettricità accumulata–Macchina elettrica.

472. Ottone de Guerike, lo scopritore della macchina pneumatica, lo fu pure della prima macchina elettrica. Egli la fece con un globo di solfo disposto sopra un asse in modo da poterli imprimere un moto di rotazione. Di poi si fecero macchine con globi e cilindri di cristallo, ma Ramsden fu il primo ad adoperare il disco di vetro con cui sono ora più generalmente fatte.

La macchina elettrica ordinaria, considerata nella massima semplicità, è come vedesi nella figura di lato. Essa consiste in un disco di vetro puro, mobile sul suo asse, il quale nella sua rotazione è confricato dalla resistenza de' quattro cuscini di pelle, pieni di crini; di un conduttore o *collettore* di ottone, posto sopra due colonne di vetro per isolarlo, che si termina a palle ne'due estremi. In quello più prossimo al disco, vi è fissato un semicerchio dello stesso metallo, ne'cui estremi vi sono due palle su cui vi è una o più punte metalliche: il conduttore si situa con le punte a poche linee di distanza dalla superficie del disco rotante. La macchina si mette in attività, nettando prima diligentemente le colonne di vetro che sostengono il conduttore, le quali saranno anche più coibenti o isolanti quando si covrono con uno strato di soluzione alcoolica di gomma-lacca, e nella superficie de'cuscini vi si stropiccia un poco di oro musivo, o un amalgama fatta con due parti di stagno, 4 di zinco e 7 di mercurio. Se l'aria è abbastanza secca, anche una piccola macchina elettrica presenta abbastanza elettricità, ma ove fosse umida, le migliori e grandi macchine ne dinotano appena qualche traccia. In questo

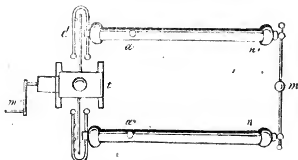


caso basta riscaldar con pochi carboni accesi lo strato d'aria che è intorno il disco ed i cuscini, perchè l'effetto avrà subito luogo.



473. La figura qui sopra dinota la stessa macchina elettrica in cui la estremità de' due bracci del conduttore *d* portano in *z z* due piccoli conduttori curvati a lettera U, che nella figura accanto si vede meglio disegnato, a fin di attirar la elettricità che trovasi accumulata nelle due facce del disco *p p*, per effetto del confricamento tra i quattro cuscini *c c*, *c c* fissati sul sostegno *n a b*. Nella fig. a destra, P rappresenta una parte del disco; ed *e* un braccio del conduttore.

La stessa macchina fatta come le ordinarie, può aver due conduttori isolati, i quali si congiungono nell'estremità con un conduttore in modo da formare un rettangolo essendone l'altro lato chiuso dal disco. La fig. qui sotto ne dinota il taglio orizzontale. I

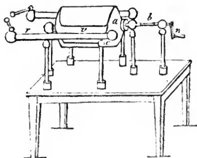


conduttori *a n'*, *a' n* sono chiusi in rettengolo dal disco, e dal conduttore *m*. All'estremità opposta, come vedesi in *d*, vi è il

piccolo cilindro curvato ad U, che porta le punte per attirar dalle due facce del disco di vetro la elettricità svolta, quando si mette in rotazione col mezzo del manubrio m'.

Quando si fa girare il disco o il cilindro della macchina, lo strofinio del vetro con i cuscini sviluppa le due elettricità, la positiva o vitrea trovasi sparsa sul disco, e la elettricità negativa o resinosa passa ne' cuscini e si dissipa nel suolo con cui essi comunicano. Il disco, o il cilindro così caricato di elettricità vitrea, scompone a distanza la elettricità naturale de' due conduttori; la elettricità resinosa è attirata nella estremità più prossima al corpo confricato, e passa sul disco ove forma il fluido neutro con la elettricità contraria che questo riceve continuamente durante la sua rotazione. Questa comunicazione col suolo, del fluido resinoso svolto per influsso dà conduttori, ha luogo continuamente, o per intermittenze, quando le estremità dei conduttori son terminate da palle o da punte, perchè la parte opposta del conduttore si carica di fluido vitreo, la cui tensione aumenta continuamente sino che l'accrescimento di tensione sia eguale a quello della perdita che fa pel contatto con l'aria; o quando lo sviluppamento fosse assai rapido, sino che la tensione possa vincere la resistenza o la forza coercitiva dell'aria (1).

474. Le macchine descritte danno solo l'elettricità positiva all'estremità del loro conduttore, ma nella macchina di Nairne, in cui vi sono due conduttori, possono aversi contemporaneamente in uno la positiva, nell'altro la negativa. La figura qui sotto ne dimostra il suo congegnamento. Il corpo confricato



è un grande cilindro di vetro a, mobile intorno il suo asse orizzontale b, ed è confricato nel senso della sua lunghezza dal solo

(1) Perchè una macchina elettrica dia la maggior quantità possibile di elettricità, deve operarsi, 1.° in un aria secca, e tener sempre ben tersi i corpi che isolano i conduttori; 2.° spalmare i cuscini con amalgama o meglio con oro

cuscino v, tenendo coverta la sua superficie da una falda di taffettà per difenderla dall'umidità atmosferica. I due conduttori isolati, vi sono accanto ed a poco distanza, portando l'uno il cuscino v confricatore, e l'altro una serie di punte metalliche nella lunghezza del cilindro, per attirar la elettricità svolta durante la sua rotazione. Ma siccome si preferisce di avere una sola elettricità per volta, per accumularla maggiormente, basta mettere uno de' due conduttori in comunicazione col suolo col mezzo di una catena metallica perchè si abbia isolata.

475. *Dispersione dell'elettricità*. Si è detto che la resistenza dell'aria opera appena su le punte, e più su le sfere, § 451, e che indipendentemente da' metalli, che sono i migliori conduttori dell'elettrico, l'umidità contribuisce ancora a diminuir l'opera dell'aria, la quale quando è secca è cattivo conduttore, e se più è umida diviene più conduttrice. Dal premesso risulta, che i corpi elettrizzati, a parità di circostanze, perdono meno elettricità se hanno figura sferica che quella di un cilindro allungato, e soprattutto se questo termina in punta, e meno l'aria oppone resistenza quando è secca che quando è umida ec. Ma in ogni caso, il rapporto della forza elettrica perduta alla forza totale è costante. Il perchè un corpo che perdesse la 40ª parte della sua elettricità in un minuto, ne perderebbe altrettanta nello stesso tempo successivo, e così di seguito.

La natura de'corpi non influisce punto ad alterar la legge del decrescimento dell'elettricità, e perciò, in parità di circostanze, tanto le palle di midollo di sambuco che quelle di resina, di metallo ec. patiscono la medesima perdita nella stessa unità di tempo.

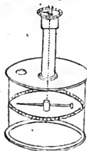
La dispersione dell'elettricità succede parimente pe'sostegni che si adoperano come isolanti. Così in una macchina elettrica, il sostegno su cui poggia il conduttore, che si fa di vetro, abbenchè coibente, fa perderli anche più o meno elettricità, perchè più la perdita per l'opera dell'aria è grande, più quella de'sostegni si fa maggiore. Or siccome l'umidità atmosferica opera per la sua potenza conduttrice, trovandosi i sostegni coverti essi stessi da questa umidità, il dispergimento dell'elettricità si fa altrettanto più prontamente quanto più l'umidità nell'aria è più sensibile. Lo stesso succede quando il corpo isolante fosse di seta, perchè tanto questa che il vetro assorbiscono con abbastanza

musivo; 3° far comunicare i cuscini o i corpi confricanti col suolo, essendosi provato che due corpi isolati danno meno elettricità con lo strofinio che quando uno di essi comunica col suolo; 4.° adoperar per ciascun pajo di cuscini un braccio del conduttore con punta, affinchè la porzione del disco che si presenta a'cuscini sia sempre allo stato naturale; 5.° isolare quanto è possibile il conduttore adoperando vetro puro, che può covrirsi con uno strato di soluzione alcoolica di gomma-lacca, per meglio difenderlo dall'umidità atmosferica.

avidità l' umidità atmosferica. Ma quest' inconveniente può togliersi adoperando la gomma-lacca, che si considera essere il migliore coibente sotto il rapporto dell'umidità, e perciò anche i bastoni di vetro che sostengono il conduttore della macchina elettrica, o altri sostegni isolanti, si covrono con uno strato fatto con la vernice di questa sostanza, la quale rende isolante il vetro e gli altri corpi come la stessa gomma-lacca. Pe' corpi meno coibenti, si sogliono immergere nella stessa gomma-lacca fusa, per farvene aderire uno strato più denso. Per le sperienze assai delicate, deve sempre riscaldarsi il sostegno isolante e pulirlo, per toglierne ogni umidità; e Coulomb osservò, che con siffatte precauzioni, possono isolarsi compiutamente le deboli cariche elettriche anche quando la lunghezza degl'isolatori fosse di 40 a 50 centimetri, ma una lunghezza maggiore li rende sempre più adatti per le cariche più forti, quantunque in questo caso, una carica assai energica reagendo sopra se stessa, respinge il fluido sino all'estremità del sostegno, e lo forza a passar lentamente e di continuo nel suolo. Questa perdita di elettricità che fanno i corpi coibenti, è, dopo le sperienze di Coulomb, proporzionale alla radice quadrata della lunghezza del sostegno, quando lo stato dell'aria non cambia.

Elettricità dissimulate o latenti. Elettrometri ed Elettroscopii.

476. *Bilancia elettrica*—*L'elettrometro* il più sensibile e delicato per conoscere la presenza delle forze elettriche, è quello immaginato da Coulomb. È questo una modificazione della sua *bilancia di torsione*, con la quale egli misurava la elasticità di ritorcimento dalla quantità di cui può un filo avvolgersi sopra se stesso senza sorpassare il limite della sua elasticità. Il suo apparecchio, per misurare la elasticità prodotta dal ritorcimento de'fili, che qui vedesi nella figura a lato, consiste in un vaso cilindrico di vetro che ha un cerchio graduato diviso in 360 parti. Un filo metallico, che vuol sottoporsi allo sperimento, fissato in alto, porta nell'altra estremità libera un ago assai pesante. La quantità della torsione vien misurata dall'ago che è sul micronometro superiore. Con questo mezzo pervenne Coulomb a'seguenti risultamenti:



1.° Le oscillazioni del filo sono isocrone, cioè descrivono spazii uguali in tempi uguali, come il pendolo;

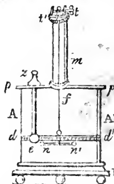
2.° Le durate delle oscillazioni sono tra esse come la radice quadrata de'pesi sospesi al filo, così il peso essendo 1, 4, 9,

16, 25, le durate delle oscillazioni sono tra esse come la radice quadrata di questi numeri, cioè 1, 2, 3, 4, 5, ec.;

3.° Le durate delle oscillazioni sono tra esse come le radici quadrate delle lunghezze de'fili;

4.° Le durate delle oscillazioni sono in ragione inversa de'quadrati de'diametri de'fili. I diametri essendo 1, 2, 3, 4, 5, le durate delle oscillazioni sono tra esse in ragione inversa de'numeri 1, 4, 9, 16, 25.

477. Partendo Coulomb da questi risultamenti, pensò applicar lo stesso apparecchio per la misura delle forze elettriche, il quale venne perciò detto *elettrometro*, o *bilancia elettrica*. La figura a lato ne dinota le modificazioni fatte al primo. Il filo *f* è di seta cruda, come esce da'bozzoli, l'ago *n n'* è di gomma-lacca che tiene accanto il piccolo disco di laminetta metallica *e*. Il filo è fisso sul verricello *t*, che serve per avvolgerlo, o svolgerlo quando si vuole alzare o abbassare l'ago *n n'*. Il cilindro di vetro AA, fisso sopra un piede di legno ben secco, serve a preservar l'ago dalle agitazioni dell'aria, e porta la circonferenza *d d'* divisa in 360 parti. Il cilindro è chiuso dal disco mobile di vetro *p p'*, su cui è fissato con mastice l'altro piccolo cilindro *m*, anche di vetro, a cui è attaccato in alto il filo *f* che sostiene l'ago. Sopra lo stesso disco vi è un apertura circolare per la quale si fanno scendere lentamente i corpi elettrizzati, attaccati alla estremità *e* di una verghetta isolante, come vedesi prossimamente a quella dell'ago in *n*, che deve attirare, per farlo poi deviar dalla primitiva sua posizione.



Nelle ricerche assai delicate, prima di mettere in opera la bilancia elettrica, fa d'uopo toglier l'umidità all'aria che vi è internamente, per mezzo di sostanze meglio igrometriche; come cloruro calcico, potassa caustica ec., lasciandovele per qualche tempo. Dipoi si comincia a girare il gran disco superiore *p p'* sino che la pallina *e* venga quasi a contatto col piccolo disco di carta dorata *n*, che è attaccato all'ago di gomma-lacca, sospeso a sottil filo di argento o meglio di platino *f*; indi si toglie il cilindro di gomma lacca *z*, che porta nell'estremità la pallina metallica *e*, la quale posta in contatto del corpo elettrizzato di cui si vuol misurare la energia, si rimette subito dopo nel suo luogo. La elettricità allora comunicandosi per contatto al disco di carta dorata *n*, questo verrà respinto, e l'ago o il bilanciere a cui è attaccato, farà girare il filo di argento *f* finchè la torsione non equilibri la ripulsione prodotta.

478. Per provar questa legge, stando l'ago di cera-lacca con un disco di carta dorata nell'estremità $n\,n'$, si fa scender nello strumento la pallina metallica c, sospesa ad un corpo coibente, dall'apertura z dopo averla elettrizzata, e si metta in contatto col piccolo disco di carta dorata n. I due corpi si divideranno l'elettricità, ed all'istante la piccola leva orizzontale $n\,n'$ si allontana dalla linea di riposo di una quantità più o meno grande, che si conosce nel cerchio graduato $d\,d$. In questo movimento, il filo si torce, e la sua forza di ritorcimento è proporzionale all'arco descritto.

Supponiamo che la forza ripulsiva sia di 36 gradi, volendo opporli una forza tale, che il piccolo ago $n\,n'$ sia ricondotto a 18, dovrà aumentarsi la forza di ritorcimento; il che si ha voltando l'ago del micrometro t in senso contrario della direzione che ha seguita la carta dorata in n. L'esperienza in questo caso dimostra, che l'ago devè voltarsi di 126 gradi, i quali aggiunti a'18, danno 144 per la forza di ritorcimento capace di mantener l'ago $n\,n'$ a 18.

Nel primo caso la distanza essendo 1, la torsione, o la forza ripulsiva che gli è eguale, è di 36 gradi; nel secondo caso, la distanza è $\frac{1}{2}$, e la forza ripulsiva 144; si avrà dunque chiamando f, f' le forze, la proporzione $f : f' :: 36 : 144 :: 1 : 4$; ovvero facendo $1 = d$, $\frac{1}{2} = d'$, le accennate distanze, e ponendo $f : f' :: d'^2 : d^2$, si avrà, sostituendo i valori delle distanze, $f : f' :: \frac{1}{4} : 1 :: 1 : 4$; cioè, che le forze *ripulsive sono in ragione inversa de'quadrati delle distanze*; e ripetendo le stesse sperienze venne provato, che l'*attrazione elettrica* siegue la stessa legge (1).

Questo strumento può far anche da *elettroscopio*, e sperimentare i corpi per veder se divengono o no elettrici per mezzo dello strofinio. Così Coulomb provò, che la gomma-lacca e la resina, l'ambra, lo zolfo ed il vetro, sono de'corpi eminentemente elettrici; vengono dopo il diamante, il topazio, lo smeraldo, e la più parte delle pietre preziose; la terra cotta, il legno, ed il carbone, che danno di rado segni di attrazione, anche quando si sono lungamente confricati, ed a più riprese; ed in ultimo i metalli e molti altri corpi non mostrano mai la menoma apparenza attrattiva. Da siffatte ricerche potè dopo Coulomb separare i corpi tutti in due grandi classi, cioè in corpi *idioelettrici*, e corpi *anelettrici*; i primi prendono la elettricità per confricamento, ed i secondi non la prendono con lo stesso mezzo.

479. L'*elettroscopio* di Volta, detto anche *elettrometro*, è fatto con una boccia quadrata da cui si taglia il fondo per sostituirvene

(1) Per maggior semplicità si è supposto che la distanza tra il corpo elettrizzato ed il disco di carta dorata, era misurata dall'arco del cerchio che li separa, ma nella realtà è la corda di quest'arco che misura la distanza, nondimeno anche senza questa correzione, la legge è esattamente dimostrata.

uno fatto con lamina di ottone. Nel collo della boccia, un conduttore metallico che finisce con una pallina, porta in basso a poca distanza due fili sottili di paglia mobili, sospesivi a paralellismo. A canto delle pareti orizzontalmente alle estremità di detti fili, vi s'incollano due strisce fatte con sottilissima lamina di stagno, e nel fondo o lateralmente, su la stessa linea orizzontale, vi è la scala dello strumento, la quale ha in mezzo lo zero, e a destra ed a sinistra è divisa in 60 parti eguali, per dinotar, nella divergenza delle pagliuzze, i 60^{mi} di grado. Alle pagliuzze vengono ora più generalmente sostituite due striscioline di foglie di oro, perchè sono assai più sensibili. Quando vuol conoscersi la elettricità sviluppata, sia per confricamento che per contatto, o pressione, si accosta il corpo così eccitato alla pallina dell'elettrometro, per notare il grado di divergenza prodotta. E volendo provare se la elettricità sia la positiva o la negativa, si accosti alla pallina dello strumento un bastone di vetro confricato. Se la divergenza aumenta, sarà la elettricità vitrea, al contrario se le pagliuzze torneranno allo stato normale di prima, sarà la elettricità negativa. Lo stesso avverrà se invece di vetro si adoperi un cilindro di gomma-lacca, perchè in ogni caso la elettricità negativa o positiva respingerà quella dello stesso nome, ed attirerà quella di nome contrario.

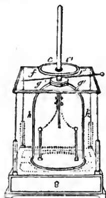
480. Ma conoscendo Volta che questo strumento operava in un aria perfettamente secca, in caso di elettricità debolissima, pervenne ad aumentarne la sensibilità mediante una semplice modificazione, e lo strumento modificato lo disse *condensatore*, e lo fece servir particolarmente per conoscere la elettricità prodotta dal contatto di due metalli. La figura di lato



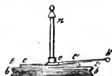
dinota la sua congegnazione. Stando l'elettrometro come quello descritto, nel sito ov'è la pallina vi si avviti il disco di ottone *e*, coverto nella superficie superiore da uu leggiero strato di vernice resinosa. Sopra questo disco se ne metta un altro simile, verniciato nella faccia inferiore, che poggia sul disco di sotto, il quale ha il manico di vetro *m* per isolarlo. Quando si vuole accumulare nel condensatore la elettricità che proviene da una sorgente di debolissima tensione, stando il disco superiore su lo strumento, si metta questo in comunicazione con la sorgente, e poi si tocchi col dito la parte nuda del disco inferiore. La elettricità accumulata nel disco superiore opera per influenza su quello inferiore; respinge la elettricità dello stesso nome a traverso il corpo dell'operatore, quando tocca col dito il disco, e concentra il fluido di nome contrario nelle parti più prossime del secondo disco. I due fluidi quindi restano così *dissimulati* o *latenti*, e lo

strato resinoso che separa i due dischi, è bastante per impedir che si riuniscano. Ma non appena alzato il disco superiore pel manico isolante *m*, il fluido del disco inferiore divenuto libero, si fa strada attraverso le parti conduttrici inferiori dello strumento, e pervenuto alle pagliuzze, o foglie di oro, le fa divergere in *a b*. Può ancora farsi lo sperimento toccando col corpo eccitato il disco inferiore, e col dito il superiore. Nel condensatore descritto, invece di strisce di stagno, vi sono due conduttori di ottone che possono avvicinarsi ed allontanarsi, a seconda delle circostanze.

481. Lo stesso condensatore *g g' h h'*, rappresentato dall'altra figura, è fatto su lo stesso principio, ed è chiuso in una scatola rettangolare di vetro, in cui s'introduce nel basso il cloruro calcico fuso, per togliere ogni umidità dall'aria. Il piatto inferiore è segnato dalle lettere *f f'*, ed il superiore da *c c'*. Dal lato *f* è fissato sul disco inferiore un conduttore metallico che termina a palla, per agevolare il contatto con esso. I due dischi hanno similmente le superficie coverte da uno strato di vernice, e differisce dal precedente solo perchè nelle sperienze assai delicate l'inviluppo in cui è chiuso difende le laminette di oro dal movimento dell'aria, e questa può privarsi di umidità mediante le sostanze meglio igrometriche conosciute che vi si mettono in basso entro cassolette adattate.



482. Invece del condensatore di Volta, può in più casi adoperarsi il *condensatore a taffettà*, quantunque sia meno sensibile de' precedenti. Esso consiste nel disco di legno *b b'* coverto di un taffettà verniciato *t t'*, e del disco metallico *c c'* su cui è fissato il manubrio di vetro *n*, per isolarlo. Il corpo da saggiarsi, si mette in contatto col disco metallico come nel condensatore di Volta, accostandolo al conduttore *g b*, e così il fluido elettrico sparso sopra tutta la sua superficie, opera per influenza, a traverso il taffettà su la elettricità naturale o dissimulata del disco di legno il quale comunica col suolo, ed in tal modo l'apparecchio si carica in ragione della tensione della sorgente che li somministra il fluido, cioè del corpo da saggiarsi già eccitato. Sollevando dopo pel manico *ne* il disco superiore, perpendicolarmente, per conoscer se la elettricità era positiva o negativa, si



accosta all'elettroscopio a pagliuole, o a laminette di oro, ovvero alla bilancia elettrica di Coulomb, e se ne determina così ancora la quantità, come si è detto nell'uso di quest'ultimo strumento.

483. Per misurar la carica del conduttore della macchina elettrica si adopera il piccolo *elettrometro* di Henly, il quale consiste in un semicerchio graduato, nel cui centro è posto un filo sottile di osso bianco, mobile, che ha nell'estremità una pallina di midollo di sambuco, la quale quando lo strumento è posto su l'estremità del conduttore della macchina, si tiene nella posizione verticale, ma come comincia l'opera dell'influenza elettrica, nel mettere in moto il disco della macchina, la pallina è respinta, e quanto più se ne allontana, dinota maggior carica nel conduttore. Alcune sperienze si fanno ad un dato grado di questo strumento, e perciò esso viene in questi casi adoperato.

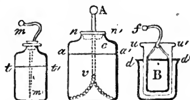


484. *Boccia di Leyden.* Questo apparecchio elettrico assai semplice, ma sommamente importante, fu scoperto nella città di Leyden, da cui ripete il nome. Alcuni credono che Cuneus l'abbia fatto prima conoscere, ed altri Musschenbroech, che lo comunicò subito dopo a Reaumur. La sua scoperta eccitò l'ammirazione dei fisici, e la sorpresa di coloro che ne sperimentarono la *scossa*. Consiste essa in una boccia ordinaria di vetro coverta per $\frac{3}{4}$ almeno esternamente da una sottile lamina di stagno, e nel collo vi è un turaccio pel quale passa un conduttore metallico che finisce esternamente a palla, ed a punta nell'interno, in cui si mettono foglie di oro falso, limatura di ferro, o altro corpo conduttore analogo. Quando invece di boccia si adopera un grosso bicchiere, o una boccia a larga bocca, prende il nome di *giarra elettrica*. La elettricità di carica dicesi *simulata*.

In questo caso suole anche vestirsi la faccia interna della boccia a largo orificio, ovvero il bicchiere con la stessa sottil lamina di stagno, ed allora non occorre che vi si pongano altre materie conduttrici. A queste due foglie metalliche si dà in generale il nome di *armature*.

La boccia di Leyden è adoperata quando si vuol raccogliere una maggior quantità di fluido elettrico che proviene dal conduttore, per avere una carica maggiore. La elettricità nella boccia trovasi allo stato latente, o dissimulata, e non diviene libera se non quando si mette in comunicazione la sua parte interna con l'esterna mediante un corpo conduttore. Così quando la estremità del conduttore della boccia si mette in contatto di quello della macchina elettrica, essa verrà caricata con la stessa elettricità del conduttore, cioè vitrea ovvero resinosa, secondo che si opera col conduttore semplice o con quello descritto che possiede le due elettricità. La parte esterna trovasi sempre conte-

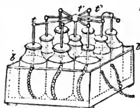
nere la elettricità contraria, e per la tendenza che hanno i due fluidi alla combinazione, osservasi perciò, che quando la faccia interna della boccia si mette in comunicazione con la sua armatura esterna, i due fluidi nel combinarsi producono la scossa, la scintilla ec. Che se la boccia . dopo averla così caricata di elettricità, si metta sopra un piatto isolato, potranno dalla pallina del suo conduttore o dalla faccia esterna ov' è la lamina di stagno, tirarsi successivamente più scintille, sino a scaricarla compiutamente; ma se invece si metta una mano su la lamina di stagno, e con l'altra si tocchi il conduttore che comunica coll'interno, si avrà ad un tratto scaricata la boccia, avvertendosi una sensazione più o meno dolorosa, che dicesi *scossa*, la quale può similmente aversi e nello stesso istante da più persone che si mettono in comunicazione, formando ciò che dicesi *catena*. Così tenendosi ciascuno per la mano, in modo da formare un circuito perfettamente chiuso, quando de' due che sono agli estremi, uno tiene con la mano la boccia per la sua fodera metallica e l'altro tocca con la mano il conduttore interno, proveranno tutti nello stesso istante la scossa, qualunque si fosse il numero delle persone, attesa la incomprensibile velocità con cui cammina o si diffonde la elettricità attraverso i conduttori.



485. *Analisi è sintesi della boccia di Leyden* — Le tre figure di sopra rappresentano, la prima la boccia ordinaria di Leyden in cui vedesi coverta esternamente in *t t'* dalla lamina sottile di stagno, ed il conduttore che in *m* finisce a palla ed in *m'* a punta che s' immerge nelle foglie di oro falso o di limatura metallica con cui suole empirsi come armatura interna; la seconda è la *giarra elettrica*, che ha sino all'altezza di *a a'* incollata la lamina di stagno tanto all' esterno che nell' interno, avendo il conduttore A *v* che finisce con una piccola catena per metterlo meglio in contatto coll'armatura o fodera interna. La parte superiore di vetro *c* suole vestirsi con uno strato di vernice e cinabro. La terza che dicesi *boccia ad armature mobili*, ha le tre parti, mobili cioè un bicchiere di metallo *d d'*, un altro di lamina di latta o di ottone *u u'*, ed il conduttore *f* B che è una boccia chiusa fatta con lo stesso metallo del bicchiere *d d'*. Le tre parti indicate son fatte in modo che una entri nell'altra esattamente,

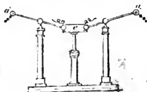
cioè che le loro pareti siano in contatto scambievolmente. La loro separazione ne dinota l'*analisi*, e la unione la *sintesi*. Con ciò si prova, che la elettricità dissimulata nella boccia di leyden non resta nelle armature interna ed esterna, ma nel vetro. Così dopo aver caricata la boccia e posta sopra un isolatore, si analizza alzandone con un bastone di vetro la boccia metallica B, e si vedrà che questo porta seco assai poca elettricità, poi si alza il bicchiere *uu'*, lasciando su lo stesso isolatore il vaso metallico esterno *d d* , il quale dà, come il conduttore B, appena segni di elettricità, ma toccate le due indicate armature B, *d d'* per portarle allo stato della loro elettricità naturale, e riposto il bicchiere di vetro *u u'* in quello di metallo *d d* e poi il conduttore B nel primo, la boccia così ricomposta ritiene quasi la stessa carica che aveva prima di scomporla , il che prova che nella separazione delle tre parti di essa , le due elettricità erano restate attaccate alla superficie interna ed esterna del vetro , tenutevi prima in equilibrio dalla resistenza delle due armature interna ed esterna, e dipoi dall'aria, come può comprovarsi togliendo un altra volta le due armature , e scaricando il solo bicchiere, toccando cioè con una mano la sua superficie interna, e coll'altra l'esterna , perchè se ne avrà una forte commozione o scossa , come quando era in comunicazione con le due armature separate.

486. *Batteria elettrica* — Si dà questo nome all'insieme di più bocce di leyden poste tutte in comunicazione co' rispettivi loro conduttori, in modo che ne formino una. La figura di latò mostra questo apparecchio , in cui veggonsi i conduttori che comunicano nell'interno delle bocce, e quelli congiunti che mettono in reciproca relazione la loro elettricità di carica. Toccando similmente la faccia esterna di una di esse, ed il conduttore superiore in un punto qualunque, la elettricità di tutte le bocce verrà scaricata come quando si opera con una di esse. Per conoscere la intensità della carica, si misura questa con l' elettrometro descritto al § 483 , quando la elettricità del conduttore della macchina è posta in comunicazione co'conduttori della batteria elettrica, nel cominciamento, tutta quella che arriva nell'interno delle bocce vi resta dissimulata, ma a misura che la carica aumenta, a poco a poco si vede ripellere la pallina dell'elettrometro, e così da'gradi che segna si giudica i gradi di tensione dell'interno della batteria elettrica.



La energia di questo apparecchio dipende dal numero, e dalla grandezza delle bocce, dappoichè essa cresce proporzionalmente coll estensione della superficie. Così una batteria che avesse

una superficie interna di 5 metri quadrati, condenserebbe più elettricità di un altra che fosse di un metro solamente. La scarica della batteria opera con tal forza su gli animali, che fa duopo ben guardarsi prender la scossa con un simile apparecchio, il quale è destinato a tutt'altro, cioè ad ottenere effetti fisici e chimici con la elettricità così condensata. Per questi si adopera l'apparecchio che vedi, che dicesi *eccitatore universale*, il quale si compone de' due conduttori mobili *a a'* posti sopra un sostegno isolante, che terminano a palle. La comunicazione con la batteria si fa con la estremità *a*, che si mette in contatto coll' esterno delle bocce, e la estremità *a'* col conduttore interno, situando il corpo su cui vuole scaricarsi la elettricità sul piatto *e* che comunica col suolo ec.



487. *Tensione*, *carica*, *e capacità per l' elettrico* — Quando un corpo è elettrizzato, ha una *tensione* proporzionale all'attrazione ed alla ripulsione che esercitano, ed una *carica*. La prima è lo sforzo dell'elettrico o del corpo che tende a ristabilir l'equilibrio rispettivo, cioè l' egualità di pressione elettrica fra corpi comunicanti, e perciò dicesi *tensione elettrica*, per indicare il maggiore o minore sbilancio dell' elettrico; il perchè i varii fenomeni elettrici, come scintilla, ripulsione ed attrazione, misurano, dalla distanza a cui il corpo lancia la scintilla, la tensione.

La *carica* è la quantità soprabbondante di elettrico ne' corpi, ed essa è relativa alla *capacità* de'corpi per l' elettrico; il perchè con la stessa carica può esservi differente tensione in due corpi, e reciprocamente. Una piccola carica dà segni di elettricità in un conduttore di piccola superficie, ma non li dà, o assai più deboli se la superficie è più ampia, perchè in ragione dell' aumento di superficie del conduttore scema la tensione benchè non iscemi la carica.

La *capacità* è l' attitudine che mostrano i corpi conduttori a ricevere maggiore o minor carica elettrica, ed essa è in ragion diretta delle superficie libere, cioè delle superficie lontane dal potere operare a distanza o per influenza sopra altri corpi.

488. *Scintilla elettrica* e *distanza esplosiva*. Un corpo conduttore ch' è caricato di elettricità, questa vi è tenuta alla sua superficie per effetto della resistenza dell' aria. Se vi si accosta il dito, o un corpo conduttore ottuso allo stato naturale, si vedrà distaccar dal corpo elettrizzato una scintilla più o meno viva, secondo la tensione o la carica elettrica di quel corpo. Si dice *distanza esplosiva* il più o meno grande intervallo che vi è tra il corpo elettrizzato, e quello allo stato naturale con cui si

trae la scintilla, in modo che al di là di questa distanza, la scintilla non ha più luogo. Questa distanza varia secondo la tensione dell'elettricità di carica alla superficie del corpo, secondo la potenza conduttrice, e la forma del corpo, e secondo la più o meno resistenza de'mezzi che circondano i corpi. A circostanze eguali, la distanza esplosiva è più grande in un aria secca rarefatta che nell'aria secca condensata, ed è sempre maggiore in questo fluido che attraverso il vetro; più in questo che nelle resine ec.

L'azione di un corpo elettrizzato non si ilmita solamente alla distanza esplosiva, perchè manifestasi anche assai più lontana, per influenza, come si è detto al § 362, ma in questo caso non vi ha scintilla, perchè essa opera su l'elettricità naturale de' corpi a distanza; allora ne scompone in essi le due elettricità, attirandone la contraria e respingendone quella dello stesso nome, cioè di carica del corpo elettrizzato. Si osseva allora la maggiore distanza a cui l'influenza ha luogo, la quale essendo come il raggio di una sfera, si dice *sfera di attività*.

489. Quando la scintilla proviene da grossa boccia di Leida, o meglio dalla batteria elettrica, essa può accender la polvere da sparo, fondere alcuni metalli ec. Se passa in un liquido, scoppia e brilla di luce come nell'aria, lanciando fuori da ogni parte lo stesso liquido. Quest'effetto ne' gas è anche assai rilevante. Kinnersley osservò il primo, che una forte scintilla produce istantaneamente una espansione sì grande da poter lanciar con forza una palla di avorio posta in un piccolo *mortajo* di legno, in cui vi è stabilita una comunicazione come nella pistola di Volta, che perciò si è detto *mortajo elettrico*. Dietro questo fatto, Kinnersley immaginò l'apparecchio qui a lato, per misurarne la intensità. Consiste questo in una specie di sifone chiuso da un estremo, fatto con un cilindro vuoto di cristallo con piede di ottone, che ha a lato il cannello $t\ t'$. Il conduttore b, che finisce a palla nelle due estremità è isolato, l'altro b' comunica col piede del conduttore. Nel cilindro si mette il liquido, e quando la elettricità della batteria o della boccia di leida si scarica sul conduttore superiore, a modo del cannone elettrico ec., la scintilla scocca tra le due palline libere bb', e al tempo stesso si vedrà la forza espansiva operar sul liquido, il quale si alza nel cannello laterale $t\ t'$, e ne misura così la espansione prodotta. Questo strumento ha ritenuto il nome di *termometro di Kinnersley*.



Una scintilla assai forte può forare una grossa lamina di vetro, un mattone o una pietra di una data spessezza, un cartone o più doppii di carta ec. In questo caso alla superficie di qualche sostanza, la scintilla lascia una traccia luminosa per qualche

istante, che dura talvolta anche per un minuto, e come una specie di fosforescenza, la cui luce apparisce rossa o violacea su la calce carbonata scomposta (craie); verdastra su lo zuccaro, sopra certi spati cristallini, e sul gres di Fontainebleu ec.

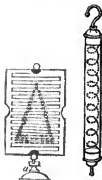
490. *Potere delle punte.* Una punta assai acuta, che può sempre considerarsi il polo di un elissoide di rivoluzione assai allungato, non trae scintille, passando la elettricità assai facilmente per esse, quanto debole fosse la carica elettrica, perchè il fluido che si accumula su la estremità della punta, avrà sempre sufficiente spessezza da vincere la resistenza dell'aria. Quando si mette un conduttore a punta su la macchina elettrica, si vedrà nell'oscurità un cono luminoso il cui vertice è su la punta. Questo cono produce nell'aria una certa agitazione, che obbliga le sue molecole ad allontanarsi, cagionando una specie di vuoto, che l'aria circostante dovendo riempire istantaneamente e successivamente, fa nascere una corrente diretta verso la parte acuta della punta. Che se la punta è mobile, sarà respinta indietro; e dando ad un filo metallico la forma di S, con i due estremi aguzzati, posto orizzontalmente sopra una punta come un ago di bussola, si vedrà esso rapidamente rotare. Sopra questo principio è fatto l'*argano*, l'*albore elettrico* ec. ne' quali essendovi più punte così disposte, la ripulsione mutua delle molecole dello stesso fluido accumulato in ciascuna di esse, l'obbliga a seguire un moto di rotazione. Questi effetti son prodotti dall'elettricità positiva o vitrea del conduttore della macchina elettrica, perchè come osservò Frémery, l'elettricità negativa, a cagione della maggiore resistenza che l'aria l'oppone, produce solamente un punto e non un cono luminoso.

Quando una punta è posta sul conduttore della macchina elettrica, non potrà da questo trarsene scintille, perchè il fluido si dissipa a misura che si accumula sul conduttore. Tenendo con la mano una punta a 30 a 40 centimetri di distanza dal conduttore, diviene similmente impossibile di caricarlo, perchè la elettricità del conduttore scompone per influenza quelle della punta, respingendone al suolo il fluido dello stesso nome ed attirandone l'altro di nome contrario, che si accumula su la punta e scappa attraverso l'aria per neutralizzar la elettricità contraria del conduttore. Lo scampanio a punta del § 471 produce l'effetto nel passaggio della elettricità ec.

Ma in alcuni casi le punte possono anche produrre scintille nel passaggio dell'elettricità da una all'altra, quando la distanza esplosiva fosse assai piccola. Si sono immaginati diversi apparecchi per giuochi fisici, fatti su questo principio, come figure, lettere, fiori ec. Questi apparecchi consistono in lamine o canne di vetro nelle cui superficie sono incollati de' piccoli rettangoli di foglia di stagno, situati nella direzione degli angoli ad 1

a 2 linee di distanza, disponendoli a disegno in modo che gli estremi siano in comunicazione con un conduttore metallico. Quando una estremità si mette in comunicazione col conduttore della macchina elettrica allo stato di tensione, e l' altro col suolo, o si tiene con la mano, nel passaggio dell' elettricità si avranno tante scintille quante sono le punte ec.

491. *Quadro magico*—Si fanno figure, fiori, lettere ec. incollando una striscia sottile di stagno sopra una lamina di vetro, tagliandola dopo, come si vede nella figura, con una punta acuta di acciaro nelle parti ove vuole eseguirsi il disegno, facendo in modo che in quelle parti la superficie del cristallo resti libera. Quando con questo apparecchio si vogliono veder que'disegni, si fa comunicar la pallina superiore del quadro col conduttore della macchina elettrica in attività, e l'altra *a* col serbatojo comune; allora il fluido elettrico passando da un punto all'altro delle parti tagliate, produce altrettante scintille, le quali nell'oscurità rappresenteranno i disegni fatti sul quadro magico, o sopra altri consimili apparecchi. L' altra figura a destra dinota una canna di vetro anche cosi preparata, che si sospende sul conduttore per la estremità ad uncino, tenendo l'altra nella mano, o facendola comunicare col suolo ec. Il quadro magico si è detto anche *quadro fulminante*.



492. *Elettroforo* — Questo strumento, di costruzione assai semplice, e dal quale può trarsi una scintilla alquanto forte, come nelle piccole macchine elettriche, fu inventato da Volta, è perciò porta il nome di *elettroforo di Volta*. Si compone esso di un disco di legno di 1 a 3 piedi che ha nell'intorno una lamina di ottone o di altro metallo alta circa un pollice, entro cui si mette la resina fusa la quale raffreddata conserverà una superficie piana; di un disco di legno di un diametro minore, coverto nelle due facce da una lamina di stagno, o può questo farsi di metallo, fissandovi nel mezzo un manico isolante di vetro. Esso opera per lo principio dell'elettricità per Influenza. Si elettrizza la superficie di resina battendola con una pelle di gatto dalla parte del suo pelo, vi si poggia subito dopo il disco metallico, e non appena alzato, si tiri col dito la scintilla, come nel conduttore della macchina elettrica, e ripetendo il contatto del disco su la resina si avrà altra scintilla, e cosi per più volte, senza operare con la pelle di gatto, che dopo un certo numero di volte. La elettricità della resina operando per influenza su le elettricità naturale del disco metallico, a traverso

il debole strato di aria, ne produce la sua scomposizione, attirando a se la elettricità contraria, cioè la positiva o vitrea, con tanto più forza quanto più il disco metallico è piccolo, respingendo il fluido negativo nella parte opposta. Questo fluido è per conseguenza sollecitato a disperdersi, soprattutto quando l'aria è umida, o che se li presenti il dito o altro corpo conduttore a superficie convessa ec.

La resina essendo cattivo conduttore, deve resultarne in questo mentre, che il fluido positivo ed il negativo che sono in presenza, non possono compiutamente riunirsi per comporre il fluido neutro, ma semplicemente restar come paralizzati mutuamente, in modo che sino che il metallo e la resina sono in contatto, alcuna parte di fluido positivo o negativo potrà scapparsi, ed essi resterebbero in questo stato indefinitamente nelle due superficie rispettive, come nel condensatore di Volta, se la resina fosse assolutamente coibente; ma poichè nel fatto non è tale, i due fluidi debbono unirsi a poco a poco, quantunque lentamente, sino che finiscano per neutralizzarsi e disparir compiutamente. Questo apparecchio vale esso solo una macchina elettrica, e serve spesso per accendere il mescuglio d' idrogeno nella pistola del Volta, nel *cannone elettrico* ec., de'quali nell'ultimo qui a lato, vedesi la comunicazione nell'interno per condurvi la scintilla. Quando vuole usarsi, vi s'introduce l'idrogeno, capovolgendolo, in modo che non lo riempia che per metà circa; si chiude col turaccio a, e si accosti il conduttore a', ch'è isolato da un cannellino di vetro, al disco metallico dell'elettroforo, o al conduttore della macchina elettrica, tenendo nella mano la catena bb', o facendola comunicar col suolo, affinchè attiri a se la elettricità che viene dal conduttore a'. La *pistola di Volta*, si fa di differenti forme, ma su lo stesso principio del cannone elettrico, quando a' due conduttori che debbono condurre la scintilla per accendere il mescuglio detonante. L'eudiometro del Volta, descritto al primo volume di questo trattato, a pag. 247, è fatto su lo stesso principio di questi descritti.



493. *Armatura de'corpi coibenti* — La difficoltà che incontra il fluido elettrico a muoversi e spandersi su la superficie de'corpi coibenti, prova l'effetto delle *armature* con cui si è detto comporsi la boccia di Leyden, il quadro magico, ed altri consimili apparecchi; dappoichè appena un punto dell'armatura è elettrizzato, lo è istantaneamente tutta la sua superficie, ed in conseguenza tutt' i punti toccati dalla lamina coibente, e quindi da tutt'i punti dell'armatura esterna si muove la elettricità svilup-

pata per opera dell'influenza per potersi spandere sul suolo. Lo stesso succede delle armature adoperate nella scarica, perchè senza di esse, da un corpo coibente elettrizzato non si trarrebbe che la sola elettricità nel punto toccato direttamente, ma con le armature la elettricità parte in un istante da tutt'i punti della loro superficie elettrizzata. Così da un disco della macchina elettrica, che è in rotazione, nell'oscurità potrebbero vedersi tanti punti luminosi quanti sarebbero i punti di contatto con un corpo conduttore, ma se sopra di esso fosse incollata una striscia di foglia di stagno, tutta la elettricità compresa nella sua superficie verrebbe scaricata, come quella del conduttore della stessa macchina. Da questo principio, e dall'opera de'corpi coibenti e conduttori che si adoperano per le armature, sonosi composti gli apparecchi precedentemente descritti col nome di quadro magico ec.

Effetti fisici, meccanici, fisiologici e chimici prodotti dalle scariche elettriche.

494. Da quanto si è esposto su gli apparecchi elettrici rilevasi, che il passaggio istantaneo dell'elettricità a traverso i corpi ponderabili, produce effetti differenti, i quali sono *fisici, meccanici, fisiologici*, e *chimici*; e quantunque la più parte di questi non avessero avuto ancora una sodisfacente spiegazione, nondimeno potendo contribuire alla ricerca della cagione vera de' fenomeni elettrici, è buono farne la dovuta separazione.

Effetti fisici — Fra questi effetti, la *luce* che manifestasi a traverso l'atmosfera, quando la elettricità accumolata si scarica, è il fenomeno fisico che deriva dal movimento de' due fluidi, quando l'equilibrio fra essi è rotto; ma perchè ciò avvenga o che si produca il massimo effetto, è duopo che la tensione dei due fluidi che determina il loro movimento, abbia una intensità sufficiente, e che la *distanza esplosiva* non sorpassi il limite a cui la stessa intensità può aver parte, al che concorre la conducibilità, la estensione e la forma della superficie del corpo elettrizzato, e la densità dell'aria, per le ragioni precedentemente esposte su la scintilla al § 489. Così nel vuoto la luce è assai debole, ed in un aria più densa essa attinge il massimo fulgore. Si produce una specie di *aurora boreale*, adoperando una canna di vetro lunga 5 a 6 piedi, quella stessa che serve per dimostrare la caduta de'gravi nel vuoto e nell'aria. Nella parte superiore è chiusa da una ghiera di ottone che porta nel mezzo un conduttore dello stesso metallo, che termina nelle due estremità fuori e dentro a palla; nell' altra estremità, è fissato alla ghiera un robinetto, il quale dopo averlo avvitato sul piatto della macchina pneumatica, fatto il vuoto si chiude. Mettendo subito dopo

la estremità superiore in contatto del conduttore della macchina elettrica, e tenendo il robinetto dell' altra con la mano, si vedrà nel buio una massa di luce porporina che riempie la canna di vetro, e dura sino che la macchina elettrica resta in movimento. Questa sperienza si fa anche con un globo di figura ellittica di cristallo, che porta ad una delle sue estremità un tubo con robinetto, e nell'altra un conduttore metallico a palla. Quest'apparecchio si è detto *ovo elettrico*, *ovo filosofico*, e quando in esso il vuoto è fatto, la elettricità scaricata pel conduttore a palla ne riempie tutta la capacità di luce, ma se aprendo il robinetto si fa entrare un poco di aria, la luce si fa meno diffusa, si ristringe e forma tra i due conduttori archi di color porporino; che se poi si faccia entrar più aria, si perverrà al punto in cui la elettricità passa da un conduttore all'altro sotto forma di scintilla.

La luce che svolgesi nella parte vuota della canna da barometro, quando si agita la colonna di mercurio, è anche luce elettrica, che manifestasi a guisa di fosforescenza. Se la canna si riscalda, la luce è di un verde vivo e molto intensa, e si fa più debole a misura che la temperatura si abbassa. Siffatta differenza si fa derivare dal vapore mercuriale, ed il fenomeno, osservato la prima volta da Picard nel 1660, venne spiegato per lo strofinio del mercurio contro le pareti del vetro.

La elettricità produce calore quando è accumolata al punto da alzare sensibilmente la temperatura ne'corpi su i quali si scarica la scintilla. L'accensione dell'etere, dell'alcool, del mescuglio detonante nel cannone elettrico, la fusione de' metalli ec. sono *effetti calorifici*. *L'eccitatore universale*, descritto al § 486, serve per operar la fusione de'metalli, col mezzo della *batteria elettrica*. Per l'accensione dell' etere può adoperarsi un cucchiajo di argento o di altro metallo, accostandolo al conduttore della macchina elettrica, perchè anche una scintilla non molto forte basta per produrre l'effetto.

Gli effetti fisici della elettricità possono prodursi a grandi distanze, facendo correrla sopra perfetti conduttori coverti di seta, e dopo con vernice di resina per isolarli. Il Dott. W. Watson aveva provato, che la scarica della boccia di Leyden poteva attraversare un filo metallico così preparato, lungo 3700 metri, con tale velocità, che gli fu impossibile segnare co'migliori cronometri il tempo decorso tra il circuito fatto e la scossa avvertita. Ma le sperienze di Wheatstone, fatte dopo per applicar questa velocità dell'elettricità alla *telegrafia*, han dato risultamenti assai più maravigliosi. Egli è pervenuto a provare con decisive sperienze, che la elettricità si trasporta sopra un filo di ottone di 0,002 di diametro con una velocità di circa 46,000 miriametri per secondo; velocità che sorpassa quella della luce nel vuoto planetario, che si sa essere di 27,300 miriametri.

495. *Effetti meccanici.* Quando il fluido elettrico passa da un corpo all'altro produce, quasi sempre qualche effetto meccanico. Se il suo moto è lento, esso mette in agitazione i corpi leggieri, agendo sopra essi direttamente per attrazione o ripulsione, o determinando una corrente di aria ; ma ove fosse animato da grande velocità, manifesta luce più o meno vivace, sovente accompagnata da scroscio, che deriva dall' urto istantaneo delle molecole dell' aria rimosse nel passaggio dell' elettricità a traverso di essa. La intensità dello scroscio sarà proporzionata alla tensione ed alla carica del corpo elettrizzato , e perciò questo nella batteria elettrica e più forte. La espansione, o l'allontanamento delle particelle di una sostanza qualunque, su cui passa la elettricità, deve cagionar compressione delle particelle vicine, ed in conseguenza il risultamento di una esplosione elettrica ha qualche analogia con gli effetti prodotti da una forza espansiva. Fusinieri ha provato, che una corrente elettrica può trasportare una parte delle materie solidi a traverso altri corpi solidi. Un disco di argento posto a poca distanza di una palla d' oro , che comunica coll' interno di una piccola batteria elettrica , ed una pallina di argento che vi comunica con l'armatura esterna, dopo la scarica si vedrannno, due macchie d'oro dello stesso diametro su le due facce del disco d'argento pulito. Altri metalli sono similmente trasportati a traverso ogni spazio che può traversar la elettricità , e si depongono sopra le superficie che incontrano , ora allo stato metallico, ora in quello di ossidi. La disgregazione e trasporto delle particelle di materia ponderabile , operata dal passaggio della elettricità, ha somministrato allo stesso Fusinieri il principio della sua ipotesi (§ 460). Le particelle dunque della superficie de'corpi, nel passaggio della elettricità, debbono esercitare, in ragione dello stato elettrico simile , una ripulsione le une su le altre, la quale in alcuni casi può essere tanto grande da vincer la propria loro forza coesiva.

496. *Effetti chimici*—La elettricità essendo considerata come la cagione delle affinità chimiche, perchè in ogni scomposizione e combinazione di corpi essa manifestasi con segni non equivoci, come meglio conosceremo negli effetti chimici della pila, deve di conseguenza essa concorrere alle azioni chimiche tutte in generale. Così la combinazione dell' ossigeno con l' idrogeno può aversi nell' eudiometro di Volta , nel cannone elettrico, ec. con la elettricità. Wollaston scompose l'acqua facendo passar le scintille elettriche che provenivano da una energica batteria, attraverso i conduttori immersi nell'acqua. Ma queste azioni chimiche meglio si hanno con gli apparecchi voltaici, che con quelli descritti, e perciò saranno più partitamente esposte nel dare ragione dell'elettricità voltaica , e soprattutto nell'esporre gli effetti chimici delle pile.

497. *Effetti fisiologici*—Tra gli effetti fisiologici della elettricità, si novera primamente la *commozione elettrica*, che comunemente dicesi *scossa*, e che si ottiene col mezzo della boccia di Leyden nel modo espresso al § 484. E poichè il corpo degli animali, conduce bene la elettricità, per mezzo de'liquidi di cui è penetrato in tutta la sua massa, quando è posto in contatto o a poca distanza da una sorgente elettrica, nel primo caso esso ne diviene conduttore, e nel secondo si elettrizza per influenza, e trovasi caricato del fluido contrario della sorgente. Dicesi poi che l' uomo prende un *bagno elettrico*, quando è posto su lo *scabello isolatore*, e tiene la mano sul conduttore della macchina in attività, perchè allora tutta la superficie del suo corpo trovasi elettrizzata come lo stesso conduttore, e perciò può trarsi da ogni punto una scintilla come dalla macchina elettrica. I suoi capelli si drizzano per ripulsione, e quando vi si dirige sopra la estremità del dito, ovvero quella dello *scaricatojo elettrico*, si veggono questi attirati, come fa il pendolo elettrico quande volte si accosta ad un corpo elettrizzato: nell'oscurità poi divengono luminosi come tutte le punte elettrizzate. Stando così l'uomo elettrizzato, appressimandoli una punta metallica sul volto, esso avverte una sensazione di un venticello fresco, o di un leggiero pizzicore, ma se invece se li accosti un conduttore ottuso, si avrà una scintilla, come dalla stessa macchina elettrica, seguita da una sensazione più o meno dolorosa, secondo la carica elettrica; ed ove si proseguisse successivamente a trarre scintille dalla stessa parte del corpo, vi si potrebbe produrre una vera infiammazione. Si traggono così scintille, o si opera con le punte su la parte affetta, quando vuole usarsi la elettricità come forza medicamentosa, come diremo appresso.

Nella *commozione* elettrica sovente, gli organi dell' animale non presentano un conduttore continuo; perciò di rado la commozione diviene generale, essendo più spesso accompagnata da urti particolari che si avvertono principalmente nelle articolazioni, con una sensazione più o men forte, la quale nel caso della *catena elettrica* (§ 484) si fa più sensibile nelle articolazioni delle bracce; ma può questa, quando la boccia fosse alquanto grande, manifestarsi alle spalle ed anche al petto. L' effetto par che sia dovuto alla istantanea contrazione de' muscoli in quelle parti, la quale quando si fa più generale, ed è prodotta da una batteria elettrica assai energica., può produrre asfissia, lesioni nell'organismo, ed anche la morte; per il che fa duopo usar molta precauzione nell'eccitar la commozione, adoperando piccole bocce di Leyden, o una più grande a cui si dà una carica leggiera. Si è poi osservato, nella catena elettrica, che coloro che sono alle estremità, e che scaricano la boccia, avvertono la scossa più degli altri, ma vi ha delle persone che la patiscono più o

meno, quantunque si trovassero poste nelle medesime circostanze, per cagione che non si saprebbe spiegare. Coloro che hanno sperimentata la scarica di grosse batterie elettriche su gli animali, hanno osservato, che questi muojono sull'istante, come se fossero stati colpiti dal fulmine, e nell'autopsia non si rinvengono lesioni costanti. Perchè poi una scossa che non fosse così forte per ucciderli, suscita asfissia, o convulsioni, si è da ciò dedotto dover la elettricità operare sul sistema in generale, e perciò esser la morte conseguenza della sospensione delle funsioni vitali. A questi effetti fisiologici, aggiugneremo le applicazioni fattene in medicina.

498. *Applicazione dell' elettricismo in medicina.* I casi ne'quali l'elettricismo ha prodotto vantaggi significanti, come lo assicura Singer, sono: *contrazioni* inveterate, dipendenti da qualche nervo offeso, ed *irrigimento delle membra*, perseverandone però l'applicazione. — *Contorsioni, rilassatezze, ammaccature,* differendone l'uso fintanto che non sia cessata l'infiammazione—*Tumori indolenti,* particolarmente negli scirri dei testicoli, ed in quelli induriti delle mammelle, adoperando forte scintille e lievi scosse sulla parte.—*Pendiconi,* usato con successo da Carpue.—*Sordità,* le scintille dirette sull'apofisi mastoidea, ed intorno al meato esterno dell'udito; altre volte si traggono scintille dal lato opposto delle parti medesime, quando quelle direttamente non giovano. — *Opacità della cornea;* uso prolungato, trasmettendo la elettricità alla parte offesa col mezzo di una punta di legno. — *Gotta serena;* applicato come nella opacità della cornea. — *Amenorrea;* le scintille e qualche leggiera scossa han giovato nella suppressione de'mestrui; sono poi inefficaci nel caso di ritenzione. — *Malattie al ginocchio;* ne' dolori e gonfiamenti, han prodotto qualche vantaggio le scintille. *Reumatismo cronico;* numerose osservazioni confermano essere utili le scintille per 10 a 15 minuti al giorno, ma se l'infermità è antica, deve prolungarsene maggiormente l'uso. *Reumatismo acuto;* si è trovata utile una corrente elettrica, diretta col mezzo di una punta su la parte affetta.— *Paralisia;* le scosse moderate e talvolta le scintille produssero buoni effetti. In generale pochi mali vi sono al dire di Singer e di altri pratici ne'quali non si citi qualche felice applicazione dell'elettricità, fa duopo solo aver perseveranza, e sapersi applicare, cioè guardar la quantità di elettricismo nelle diverse malattie; essendo abbastanza provato avere la elettricità grande influenza sui nervi, e quando la scossa elettrica attraversa una parte qualsiasi del corpo, può produrre invece gravi accidenti ove non fosse data con giusta proporzione.

Elettricità atmosferica.

499. Le più remote conoscenze su la elettricità par che avessero avuto per oggetto lo esame puramente curioso di alcuni fenomeni prodotti da corpi elettrizzati. Non si era, prima di Nollet e Franklin, portata alcuna attensione su i tanti fenomeni elettrici che succedono nell'atmosfera, come sul fulmine, sul tuono, sul lampo ed altri che vanno sotto il nome di *meteore luminose*; come altresì non pochi fenomeni simili vennero attribuiti ad infiammazioni di sottili effluvii, esalazioni solforose innalzatesi nelle alte regioni dell'atmosfera ec. con che davasi ragione della luce che serpeggia sulle grandi eruzioni vulcaniche, che ora è conosciuto esser luce elettrica. Il lampo, il tuono, ec. credevasi che fosse prodotto dall'urto delle nubi procellose; nelle quali spiegazioni venivano alle cagioni fisiche reali sostituite sogni e favole più o meno bizzarre. L'Abate Nollet presenti il primo dovervi essere stretto rapporto tra i fenomeni prodotti dalla elettricità ordinaria della scarica di una poderosa batteria elettrica col tuono e con altri fenomeni luminosi dell'atmosfera, facendo derivare gli uni e gli altri da una stessa cagione, da un medesimo meccanismo. L'universalità ond'è sparsa la materia elettrica, la prontezza della sua azione nel passar da un corpo all'altro, la sua attitudine ad infiammare, a fondere i metalli, a privar di vita gli animali ec. erano fatti che bastavano a sostenerne il confronto; il perchè conchiudeva Nollet, che gli effetti della boccia di Leyden, ove suppongasi in questo apparecchio aumentata convenientemente la sua carica, potrebbero bastare per formarsi su i lampi e sul tuono conghietture più rette e verosimili di quante erasene immaginate sino allora. Ma era riserbato a Fraklin dimostrare ed evidenza la identità dell'elettricità ordinaria con quella del fulmine, e dopo un seguito di sperienze fatte dal 1746 in continuazione al 1753, pervenne a fissare, 1° che la direzione a *zig-zag* seguita dal fulmine, corrisponde all'apparenza sotto cui si presenta la scintilla che proviene dalla scarica di vigorosa batteria elettrica, quando passa a traverso un grosso strato di aria; 2° che il fulmine percuote più sovente i còrpi alti e prominenti, quali sono le sommità delle montagne, degli alberi, de'campanili, de'vascelli ec.; 3° che il fulmine, come la elettricità libera della macchina elettrica, risparmia i corpi non conduttori, e corre velocissimo sopra quelli che meglio la trasmettono, seguendone ogni sinuosità, soprattutto se sono metalli; 4° che il fulmine accende e fonde i corpi come la elettrità delle batterie elettriche, ovvero la semplice scintilla; ed in ultimo, esso allo stesso modo che la elettricità ordinaria delle macchine, infrange e volatilizza alcuni corpi, uccide gli animali, o

li priva di vista, e fa cadere in asfissia; opera su l'ago calamitato ec. La differenza solo che Franklin fece notare fra tanti fenomeni identici prodotti da cagione identica, era la intensità magiore della elettricità accumulata nel fulmine, paragonata a quella che può accumularsi co'più poderosi apparecchi elettrici, ma quando le intensità si portano quasi ad eguaglianza, il che è assai facile aversi, con alcune deboli intensità di elettricismo atmosferico, gli effetti sono perfettamente identici.

Queste prime conclusioni di Franklin eccitarono l'attenzione di tutt'i dotti di Europa. Il Governo di Francia incoraggiò molti Accademici, tra quali Delibard, Delor, Mazéas, Buffon e le Monnier si affrettarono ripeter le sperienze di Franklin. Nel 1752 il 10 maggio, venne alzata una spranga di ferro acuminata alta 40 piedi a Marly-la-Ville, e questa rimase elettrizzata al passar che fece sopr'essa una nuvola procellosa. Queste sperienze furono con egual successo ripetute subito dopo in Inghilterra da Canton, Watson, Wilson, e da Bevis ec.

Franklin, ignorando che già altrove si sperimentava sopra questo suggetto, attendeva che si terminasse in Filadelfia un campanile, da dove si proponeva meglio esaminar la elettricità atmosferica col mezzo di una spranga acuminata di ferro, ma pensò che un cervo volante, essendo più atto a sorpassar di gran lunga quell'altezza, dovesse meglio corrispondere al suo intento. E perciò adattando a questo una punta metallica, e tenendolo con un grosso filo bagnato, ne sperimentò con successo gli effetti, spingendolo prossimamente alle nubi procellose. Siffatte sperienze non appena note, vennero ripetute in più altre contrade di Europa, e Romas in Francia, ottenne effetti assai più sorprendenti, adoperando un sottil filo di metallo come più conduttore, e così ebbe intensissime scintille di 10 piedi di lunghezza, e tutti gli altri fenomeni ottenuti da questo semplice e nuovo apparecchio elettrico, non furono meno imponenti. Ma sperienze di simil fatta dovevano ripetersi con ogni precauzione, e coloro che si cimentarono a farle nel modo così semplice, n'ebbero talvolta sinistri più o meno gravi. Fra questi nel 1753, a' 6 Agosto, Richman di Pietroburgo, pagava con la propria vita gli effetti del suo apparecchio isolato, posto sopra la stessa sua casa; perchè non avendo badato a scaricar la spranga già elettrizzata, nell'osservare i risultamenti di alcune sperienze, avvicinò a caso la testa alla spranga e su l'istante fu steso morto al suolo. Si osservò nella sua fronte una macchia rossa; una scarpa era stracciata, ed arsa una porzione della sua sottoveste. Il suo compagno che li era accanto, fu stramazzato a terra, ove restò qualche tempo privo de'sensi; la porta uscì da'suoi cardini, e la bussola ne rimase spaccata (*Philosoph. trans*; vol XLVIII, p. 755).

Non essendosi preveduti dapprima nè da Franklin, nè da altri

fisici i danni a cui si esponeva l'operatore in siffatte sperienze, dopo varii accidenti, ed in ispecialità dopo la morte di Richman, si cercò evitarli con opportuni congegnamenti. Così Franklin per essere avvertito quando la elettricità atmosferica operava su l'apparecchio, pose in contatto con la spranga di ferro il *cariglione* o lo *scampanio*, descritto al § 471 , affinchè quando il suono avveniva, si era certo essersi già la elettricità accumulata nella spranga metallica; e per trarne impunemente le scintille, egli operava sempre con eccitatore con manico coibente. Queste sperienze oggidì si ripetono con ogni sicurezza, ponendo a poca distanza dalla spranga isolata, una verga metallica, o catena, che si fa comunicar col suolo , o con l' acqua di un pozzo più vicino. Mediante tale previdenza, ogni volta che l'elettricità diviene troppo intensa, essa apresi una strada a traverso que'conduttori, che comunicando con la spranga aguzzata, la diffondono sul suolo senza che succeda veruno inconveniente. Queste considerazioni somministrarono a Franklin l'idea de' *parafulmini,* ora generalmente in uso in que'paesi ove tal meteorea luminosa è più frequente, come descriveremo appresso.

500. *Elettrizzamento delle nubi.* Gay-Lussac , partendo dalla considerazione che i globetti vescicolari di cui son formate le nubi danno alla massa di aria che le circonda una proprietà di condurne la elettricità, considerata così una nube buon conduttore, deve la elettricità di quella massa di aria portarsi su la superficie della nube, e trovarsi questa elettrizzata al modo de'corpi conduttori isolati delle macchine elettriche ; dal che conseguita, che quando una nube trovasi caricata di elettricità contraria di un altra, ovvero una positivamente e l'altra negativamente, nell'incontrarsi a giusta distanza i due fluidi o le due quantità, debbono neutralizzarsi, e quest'equilibrio produrre l'esplosione. Perchè poi si comprenda come nella stessa atmosfera una nube trovisi elettrizzata positivamente ed un altra negativamente , ovvero l' una caricata di fluido vitreo , l' altra di fluido resinoso , quantunque l' aria possegga solo il fluido positivo o vitreo , fa duopo ammettere, che i corpi che sono su la superficie terrestre debbono, per influenza della elettricità positiva o vitrea dell'atmosfera , essere elettrizzati negativamente ; il perchè le nebbie che si formano su i fiumi, su i laghi , sul mare, o gli stessi vapori che da queste acque si alzano nell'atmosfera, debbono trovarsi elettrizzate come i corpi conduttori che sono in contatto col suolo. L'opera de' raggi solari che determina quelle nebbie, o vapori a dilatarsi, alzandosi nell'atmosfera ne risultano le nubi così elettrizzate negativamente; ma le altre nubi che erano assai prima nell'atmosfera, avendo già con questa neutralizzato il loro fluido contrario, si trovano posseder la stessa elettricità positiva dell'aria, e perciò essendo le nuove nubi elettrizzate negati-

vamente, nell' incontro mutuo, deve avvenir neutralizzazione delle due elettricità contrarie, e quindi il *lampo*, il *fulmine*, il *tuono* ec.

501. *Del fulmine e del tuono*.— Le osservazioni esposte su la identità della elettricità ordinaria con quella dell'atmosfera, fecero dedurre non essere altra cosa il *fulmine* che un energica corrente elettrica, a varii gradi d'intensità, o nell'altra ipotesi, di due correnti di elettricità contraria che spiccansi da nube a nube, o tra queste e la terra, da cui deriva il *lampo* e poi il *tuono*. Questi fenomeni non differiscono dalla luce e scoppio che accompagnano la scarica di una batteria elettrica, o di una grossa boccia di Leyden, se non per la intensità appena sensibile della elettricità così occumulata con l'arte in questi apparecchi, in confronto di quella intensissima che naturalmente può scaricarsi da due o più nubi quando sono le une elettrizzate in più, le altre in meno, o che le une son caricate di fluido vitreo, e le altre di fluido resinoso. L'effetto delle nubi elettriche su la terra, è di scomporre per influenza la elettricità dei corpi terrestri, ed attirarne il fluido contrario a quello delle nubi, le quali in tempo procelloso sono in uno stato di movimento disordinato, ed il loro interno manifesta una sorte di brulicamento. Da queste nubi parte d'ordinario il fulmine, il quale si annunzia con una luce istantanea ed abbagliante, seguita dopo da scoppio più o meno forte che dicesi *tuono*. Il fenomeno sovente apparisce con un lungo tratto di luce bianca vivissima, ovvero porporina o violacea, che dicesi anche *baleno;* talvolta serpeggiante, o a *zig-zaga*, mai in linea retta, e sovente lunga più leghe, e la celerità con cui manifestasi e sparisce, si è creduto da alcuni potersi valutare per approssimazione ad un millesimo di secondo. A siffatte nubi procellose, da cui parte luce così viva ed unita, si fa derivare la produzione de'fulmini che cadono su la terra, e cagionano incendii, rovine, e morte. Non così avviene dell'apparizione di que'lampi che occupano una grande estensione di superficie rischiarata da luce bianca, turchina, o violacea, ma meno vivace ed istantanea della precedente, che illumina i contorni delle nubi, o tutta la loro superficie, perchè questi di rado si cambiano in fulmine, e di essi impunemente può osservarsene migliaja in tempi più o meno procellosi.

All'apparir del lampo, se questo si appartiene alla luce vivissima ed istantanea, prodotta dall'effetto dell'elettricità delle nubi su quella della terra, e che si manifesta in forma di un tratto più o meno lungo e sinuoso, ovvero a *zig-zaga*, ciò dinota l'avvicinamento ed allontanamento dall'osservatore, e che una nube si scarica successivamente contro un altra. Succede talvolta che il fulmine e già caduto in quell'istante e perciò il tuono che lo segue quasi dappresso, non deve più incuter timore, ma se l'ef-

fetto ha luogo solo fra nube e nube posta l'una su l'altra, il continuo balenare, e lo spaventevole rumore che può succederne senza interruzione, e che sembra annunziare ad ogni momento la caduta del fulmine, non deve però incutere alcun timore, dappoichè tutto avviene in alto nello spazio compreso tra le due, o più nubi, ed in conseguenza la terra è sicura dall'effetto prodotto dall'attrazione e neutralizzazione de'due fluidi.

La caduta del fulmine sopra gli oggetti terrestri, è, dopo il premesso, determinata dalla natura coibente o conduttrice di questi stessi oggetti, dalla loro posizione, e dalla loro forma; il perchè i migliori conduttori ne sono di preferenza colpiti, anche se fossero appiattati sotto il suolo, perchè questo stesso è conduttore dell'elettricità, o capace di operar per influenza. Così l' acqua su la terra è sovente affettata dal fulmine, perchè buon conduttore, e perciò osservasi che una nube elettrizzata che li passa ad una data distanza, può talvolta alzar l' acqua dal letto, e se vi si approssima maggiormente, può essa patire gli effetti del fulmine, perchè in tal caso opera essa stessa come altra nube differentemente elettrizzata, ovvero per effetto dell'influenza dell'elettricità della nube su la elettricità naturale dell'acqua.

502. Gli oggetti più elevati, e per conseguenza più prossimi alle nubi elettrizzate, come torri, campanili, alberi, ec. sono i primi a sperimentar cotesti effetti. Le punte, perchè attraggono meglio la elettricità che le superficie convesse o curve, sono più atte ad accumular la elettricità atmosferica, come lo sono similmente per quella delle macchine elettriche descritte. Perciò non si cessa di avvertire, di non ripararsi sotto alberi bagnati in tempi procellosi, e quantunque un uomo sia esso stesso un piccolo albore in una pianura, essendolo meno delle parti più alte e puntute dell'albore, non è prudente correr dappresso a questo, sperando di fuggirne gli effetti, chè, in pari circostanze, in aperta campagna si è più sicuri che sotto alberi bagnati, perchè quando sono secchi, conducono men dell' uomo la elettricità. Il perchè in tempi assai procellosi vediamo in un villaggio, in una città, ec. cadere il fulmine di preferenza su i campanili che su le case e su le pianure; in mare, su gli alberi de'navigli, che su le acque ec.

Gli effetti del fulmine non solo possono patirsi sotto gli alberi, su i campanili, su i navigli, ma anche a certe date distanze da questi, in luoghi che ne sono abbastanza lontani. Si sono veduti uomini colpiti dal fulmine caduto ad una distanza assai sensibile dal luogo ove il fulmine è realmente caduto. Questo effetto, che il fisico inglese Milord Mahon distinse il primo col nome di *contracolpo*, e che i francesi dicono *percossa e ritorno*, non ha avuto ancora una sodisfacente spiegazione, ma si crede che quando una nube trovasi carica di elettricità vitrea, un uomo che fosse posto a distanza, ma nella sfera di attività della medesima

nube, deve il fluido vitreo dell'uomo essere respinto per influenza nel suolo, per effetto della ripulsione del fluido contenuto nella nube, e come si è detto su l'elettricità per influsso, al § 362, deve l'uomo trovarsi in uno stato opposto di elettricismo, posseder cioè la elettricità negativa o resinosa. Or se in questo punto la nube venga indotta da un oggetto più lontano a fare espolsione, dovrà il fluido vitreo passar nuovamente nel corpo dell'uomo posto ad una data distanza, cioè dentro la sfera di attivita, con una rapidità e con una tensione proporzionata all'energia con cui operava la elettricità della stessa nube; e dovendo questa neutralizzarsi con la elettricità contraria, la rapidità con cui ciò succede, produce l'effetto di una grande commozione, o scossa elettrica, e perciò dal grado della sua intensità, può l'uomo o l'animale restarne ferito o perdervi anche la vita, come è spesso avvenuto. Questo ristabilimento di equilibrio de' due fluidi contrarii, che fu detto da Mahon *contracolpo*, succede in certe direzioni ed in date circostanze, perchè spesso si è veduto cadere il fulmine in una casa di campagna o sopra un albore, prodursi ivi gli effetti dell'incendio o della distruzione, morirsi un uomo o gli animali che erano ad una data distanza, e restarne illesi gli altri che erano più prossimi al punto in cui è caduto il fulmine, ed inconseguenza esposti apparentemente più al pericolo di coloro che n'erano più lontani.

503. Le reiterate osservazioni fatte da Arago su i tanti variati fenomeni prodotti da luce elettrica in tempi procellosi, lo indussero a comprenderli in tre classi. Nella 1ª classe vi sono certi lampi o baleni che sembrano consistere in un tratto, o solco di luce assai ristretta su gli estremi, la quale non è sempre bianca o dello stesso colore, perchè ora è anche porporina, violacea, o azzurra; e non ostante la incredibile rapidità con cui cammina; non segna mai una retta, ma spesso serpeggiando, descrive *zizzaghi* più o meno pronunziati. Nella 2ª *classe* la luce de'lampi invece di stringersi in tratti sinuosi quasi senza larghezza apparente, all'opposto essa abbraccia un immensa superficie, ma non ha la vivacità e bianchezza de'lampi detti *fulminanti*, e sovente manifesta una tinta di un rosso intenso, in cui il turchino ed il violetto vi dominano da tempo in tempo. Che se un lampo della 1ª *classe* a *zigzaga* solca per quello della 2ª, la differenza de'loro colori si conserva, e si avverte anche da occhi meno esercitati in siffatte osservazioni. I lampi della 2ª classe sono più comuni; qualche volta sembra che illumino i soli contorni delle nubi da cui portono, ed altra volta la luce diviene si viva, che illumina tutta la superficie delle stesse nubi, ed in alcuni istanti sembra che la luce esca dal loro interno, o che la *nube si squarcia*. In un tempo procelloso, di siffatti lampi ne sorgono migliaja contro un lampo sinuoso di 1.ª classe, il quale sarà sempre distinto dai

caratteri esposti. I lampi di 3ª *classe* differiscono da' precedenti per la durata, velocità, e forma. Essi sono visibili per più secondi, come da 1 a 10 ec., mentre i primi sono istantanei; trasportano le nubi su la superficie della terra con una lentezza che l'occhio può seguirle nel loro cammino discendente. Gli spazii che comprendono sono circoscritti, netti, e definiti, e di una forma che Arago crede dover poco differir da quella della sfera, da poichè da lontano, in proiezione, questi spazii sembrano cerchi di luce.

504. *Parafulmini*. Dagli effetti prodotti dall' accumulamento della elettricità atmosferica nelle nubi, e dallo studio fattone da Franklin e da altri fisici per attirarla e comprovarla, nacque l'idea al primo di un apparecchio per annientarne gli effetti, che perciò lo disse *parafulmine;* e se Franklin non fu il primo a rapir dalle nubi la elettricità che v'era accumulata, ne concepì almeno l'idea di preservarci da' suoi effetti quando poteva scaricarsi su gli edificii, o altra parte della superficie terrestre.

Il parafulmine consiste in una spranga rettangolare di ferro, aguzzata nella estremità in alto, e piantata verticalmente su gli edifizii, la cui altezza media è da 7 a 9 metri, ed il diametro di 15 a 20 millimetri, avendo nella estremità in basso un conduttore fatto con una fune o catena metallica, che prolungandosi sul tetto, si fa scenderla lungo il muro laterale dell'edifizio sino nel suolo, fissandola da parte in parte con ramponi di ferro. Perchè poi il ferro è soggetto ad ossidarsi, verso la estremità vi si fissa un asta conica di ottone lunga 55 centimetri. La estremità del conduttore che si fa entrare nel suolo, ad una profondità di 5 ad 8 piedi, si circonda con uno strato di carbone per difenderla dall' ossidazione e poi si dirige a traverso il muro di un pozzo per farla immerger nell'acqua almeno per 65 centimetri. Quanto poi alla distanza a cui debbono situarsi i parafulmini sopra edifizii assai lunghi o di grande superficie, l'esperienza par che abbia dimostrato, che un parafulmine può difendere intorno ad esso uno spazio circolare doppio della sua altezza. Così per un edifizio lungo 36 metri ed altrettanto in larghezza basterebbe un parafulmine alto 9 metri postovi in mezzo del suo tetto, perchè esso è centro di un cerchio di 36 metri di diametro, di più che il fulmine non può oltrepassare, cioè d'un diametro eguale alla diagonale del quadrato, e partendo da questo dato, possono moltiplicarsi i parafulmini secondo la estensione degli edifizii che voglionsi preservare da'suoi effetti. Nel caso che occorressero più parafulmini su lo stesso edifizio, potrebbero mettersi tutti in comunicazione con un solo conduttore, ma l'esperienza ha dimostrato esser più prudente assegnarne uno a ciascuno, e farli scendere separatamente nel modo sopra espresso.

505. Dalle cose dette su i conduttori, su i coibenti, o isolanti,

su la elettricità per influenza, e su la tendenza de' due fluidi a combinarsi, deve la teorica de'parafulmini consistere nell' effetto prodotto dalla elettricità della nube carica di elettricismo che vi passa nella distanza della sfera di attività; essa scompone per influenza la sua elettricità naturale, il fluido contrario allora portato su la punta metallica, neutralizza a poco a poco la elettricità della nube, senza che si producano nè scosse nè rumore. Ma ove la nube venisse ad operar più prossimamente su la punta del parafulmine, la elettricità ne uscirebbe a gran fiotti a guisa del lampo, producendo anche lo scoppio come il tuono. In questo caso la punta dicesi *fulminata*, e se l' esplosione succede sopra la stessa punta, può avvenir che si fonda, senza però che arrechi alcun danno all' intorno, perchè la elettricità comunque ivi accumulata, seguirà sempre la direzione del conduttore attaccato al parafulmine, lasciando illesi gli oggetti vicini. Ma perchè queste condizioni vengano adempiute, fa duopo tener sempre il conduttore e la spranga in uno stato convenevole, affinchè la comunicazione dell' ultima col suolo sia continua e non interrotta a causa di ossidazione avvenuta nel metallo che si è adoperato per condurre la elettricità nel suolo, e poichè l'acqua conduce meglio che questo la elettricità, si fa perciò comunicare il conduttore in un serbatojo di questo liquido, o si prolunga sotterra isolandolo con avvolgerlo nella polvere di carbone contenuta in una scatola di legno bene unito e masticata diligentemente sino a portarlo ad una convenevole distanza dalle mura dell'edifizio per impedire quanto è possibile con questo la comunicazione di que' conduttori.

Il fulmine attraversa facilmente la spranga e la catena, o i conduttori del parafulmine, senza alterarli, ma se non avessero abbastanza grossezza, potrebbe fonderli, e volatizzarli; e quando cadesse sopra corpi coibenti, si vedrebbero questi rotti e sovente anche trasportati a grandi distanze. Esso calamita il ferro, e per conseguenza le punte de'parafulmini fatte con questo metallo; cambia i poli delle bussole quando cade su i navigli, e se cade in un luogo ove sono metalli, si slancia di preferenza sopra di essi; li riunisce, li fonde, ed anche tal volta li volatilizza, e poi dovendo correr sopra corpi meno conduttori, li rompe, o vi passa a traverso, lasciandovi fori più o meno grandi sino, che si estingue nel suolo. I suoi effetti calorifici sovente si mostrano con incendii di materie combustibili, e nel suolo stesso ove si estingue, lascia una sostanza fusa in forma di cilindro cavo, che si è detta e creduta *pietra* del fulmine, o *tubo fulminare*, che dopo ha ritenuto il nome di *fulgorite*, e che consiste in una sostanza silicea, dura da tagliare il vetro, che deve comporsi de'silicati di calce, di allumina di magnesia e ferro, che si trovano nel terreno fuso dall' opera del fulmine. Talvolta passando a traverso

28

un suolo sabbioso, ne agglomera la sola silice in lunghi tubi vetrificati, che sono anche detti *fulgoriti* (1).

GALVANISMO O ELETTRICITA' VOLTAICA.

506. Le prime tracce di questa elettricità si trovano in una sperienza di Sulzer, registrata in una sua opera che ha per titolo. *Teoria generale del piacere*, stampata nel 1767, 40 anni prima delle scoperte di Galvani e del Volta. Ivi è detto. « Se si congiungano due pezzi di metallo, uno di piombo e l'altro di argento, in modo che i due estremi formino un medesimo piano, e si adattino su la lingua, si avvertirà un sapore che si avvicina molto a quello del vitriolo di ferro, mentre che ciascuno di questi pezzi applicato separatamente non isviluppa alcun indizio di tal sapore. Non è probabile, aggiunge Sulzer, che per mezzo dell'unione de'due metalli accada qualche soluzione dell' uno o dell'altro, e che le particelle disciolte s'insinuino nella lingua?

(1) Nel Comptes Rendus (an. 1844 n. 10) si legge un estratto d'una lettera scritta da Peltier ad Arago sopra alcune sue sperienze falte colle scariche elettriche della boccia di Leida sulle sbarre di ferro, onde con i lumi ricavati dalle medesime, intende aver fatto sparire dalla teorica del fulmine tutte le anomalie, che si producono dalle sue scariche sui corpi che investe. Eccone alcuni.

Esiste secondo Peltier una compiuta opposizione tra i fenomeni *d' elettricità statica* e la *dinamica*, la quale distinzione fa disparire la confusione che regnava in questa parte di Scienza, onde 1°. Quando un conduttore è sufficiente a dar libero passaggio ad una Scarica elettrica, non vi sono che effetti dinamici che si manifestano per un elevazione di temperatura, per un evaporazione dei liquidi su i conduttori per le azioni chimiche, e per la direzione dell' ago magnetico; ma non vi è alcuna delle attrazioni, nè dalle ripulsioni che appartengono all' elettricità statica.

2. Allorchè il conduttore è insufficiente, i due ordini di fenomeni esistono simultaneamente. I fenomeni dinamici sono prodotti dalla porzione che scorre a traverso al conduttore, e di fenomeni statici per la porzione arrestata dalla sua insufficienza. La più gran parte dei materiali che entrano nella costruzione delle fabbriche, delle abitazioni ec., sono nella classe dei cattivi conduttori, e però allorchè il fulmine colpisce un edifizio, vi sono sempre, in ragione di questa debole conduttibilità, delle azioni potenti dell'elettricità statica. Vi sono delle porzioni di buoni conduttori, di semi-conduttori, come metalli, muri, legni, lane ec. Se il fulmine lascia un buon conduttore e ne trova de' cattivi, allora s'arresta e produce fenomeni d'elettricità statica locale, da cui ne nasce nell'arresto della corrente, che i legni, muri, mobilie, e liquidi ricevono degli spacchi, combustioni, stritolamento, evaporazioni per effetto dell' attrazioni del vicino suolo umido e conduttore. I liquidi che evaporano per l'azione dell' elettrico, aggiungono un appoggio a tutte le conducibilità vicine. Il vapore, che s'eleva allora, non è un effetto prodotto da un'evaporazione d'alta temperatura, come nel caso d'azione dinamica, in cui si produce la combustione, ma l'effetto della superficie umida aumentata dall'attrazione prodigiosa che opera sopra di esso, da cui risulta quest'evaporazione.

Allorchè si vede elevar vapori dal suolo, o dai vasi pieni d'acqua, si può affermare che questa è elettricità positiva ch'irradia di basso in alto, e che la massa elettrica che costituisce il fulmine è negativa. Le sperienze che Peltier ha fatte, gli hanno mostrato, che la formazione del vapore è maggiore assai alla superficie del vaso positivo, che in quella del negativo; ciò che concorda, pel rimanente, con quanto si conosce dal trasporto materiale più facile del polo positivo al polo negativo.

Bisogna dunque conchiudere, che il loro avvicinamento produca nell' uno o nell'altro, o in entrambi, una vibrazione nelle loro particelle, e che tale vibrazione, la quale deve necessariamente stimolare i nervi della lingua, vi cagioni il piacere, o la sensazione del sapore accennato ».

Per ripetere la sperienza di Sulzer, così esposta in certo modo oscuro, può mettersi una lamina di zinco sopra la lingua, ed un altra di rame sotto, tenendo i due estremi tra le mani in modo che non si tocchino; si avrà così solo una sensazione di piccola privazione di calor dalla lingua, ma non appena si avvicinano al punto del contatto quelle due estremità, si avvertirà subito dopo il sapore distinto, che Sulzer paragonò a quello del vitriolo di ferro (solfato ferroso de' chimici), il quale sarà tanto più sensibile, quanto più sono lunghe le due lamine indicate. Questo fenomeno è anche accompagnato sovente da una specie di splendore che avvertesi negli occhi, quando si tengon chiusi, e che si operi nell'oscurità, ma tal fatto venne tenuto solo come fenomeno particolare, senza che i fisici vi avessero data alcuna importanza, o che ne avessero tentata una qualche più ragionevole spiegazione (1).

Nel n.° VIII del *Giornale Enciclopedico* di Bologna, 1786, veniva rapportato un fenomeno osservato da Cotugno, professore di anatomia a Napoli, ed era, che nel mentre stava egli studiando, sentendosi un forte pizzicore nella parte bassa della gamba, nel portarvi la mano vi prese un sorcio, il quale nel notomizzarlo subito dopo su la stessa tavola presso cui sedeva, restò sorpreso non poco quando nel toccar col coltello il nervo intercostale o diaframmatico dell'animale, avvertì una commozione elettrica tanto forte che li stupidì la mano. Questo fatto, che non poco rumore fece presso i fisici Italiani, indusse Vassalli-Eandi, della Reale Accademia di Torino, a congetturare, che la natura avesse qualche mezzo per conservare e ritenere la elettricità in qualche parte dell'animale, ad oggetto di valersene nei suoi bisogni.

Si pensò dopo che il sangue fosse animato dal fluido elettrico, e Bridon suppose ancora dovere essere il fluido nervoso identico col fluido elettrico. Ma era riserbato a Galvani, professore di

(1) Nel ripeter più volte questa sperienza, non potei avvertir siffatto splendore, ma pervenni a produrlo costantemente, mettendo una lamina di zinco ben tersa sotto la lingua, e tenendo la estremità più stretta di un cucchiajo di argento su la membrana congiuntiva dell'occhio tra il suo angolo interno ed esterno, non appena toccava e poi subito alzava l'altra estremità con quella della lamina di zinco, avvertiva una luce sensibile ogni volta che ne reiterava il contatto. Lo stesso ottenni mettendo le due lamine, una sotto la lingua e l'altra tra il labbro superiore e le gingive, tenendo gli occhi chiusi, ed operando nell'oscurità. La luce appariva sempre come un leggiero balenar di luce eletrica.

anatomia a Bologna spargere splendidissima luce sopra queste argomentazioni, e dare alla fisica una scoperta, che altre più rilevanti ne traesse seco. Ecco la scoperta di Galvani, da cui ebbe origine il *galvanismo*, e da questo la scoperta della *pila voltaica*.

507. Galvani occupavasi una sera nel suo gabinetto fisico a fare sperienze con alcuni suoi amici, e col suo nipote Camillo Galvani, che poi fu lo scopritor della *pietra fosforica* di Bologna, descritta al § 249 di questo volume. Erano poste a caso su di una tavola, in cui stava una macchina elettrica, delle rane allora scorticate; un certo intervallo separava queste dal condutor della macchina. Uno fra gli astanti che cooperava alle sperienze elettriche, avvicinò a caso la punta di uno scalpello anatomico a' nervi crurali interni di una di quelle rane, nell' atto che tiravansi da altri scintille dal conduttore; nello stesso momento l'animale si vide agitato come preso da convulsioni, quantunque morto. La sposa di Galvani era presente, e colpita dalla novità, credè avvedersi, che quelle convulsioni derivassero dall'effetto dello sviluppo della scintilla elettrica. Si recò subito presso suo marito per avvertirlo di tal fenomeno, e questo appena tornato in quell'adunata di amici, si accinse a ripeterlo, e pervenne a riprodur que'convellimenti nell'animale, toccando con la punta dello scalpello i suoi nervi crurali, nel tempo stesso che tiravasi una scintilla dal conduttore. Dapprima egli credè poter ciò derivare dallo stimolo prodotto dallo scalpello più tosto che dalla scintilla, e per toglier tal dubio, operò quando la macchina era in riposo, e vide che le contrazioni non avevano più luogo: l'esperienza spesso ripetuta nell'uno e nell'altro modo, fu costantemente seguita da'medesimi risultamenti.

Galvani spiegò dapprima il fenomeno ammettendo che il conduttore della macchina, caricato di fluido positivo, forzava il fluido della stessa natura rifluir dalla rana ne' corpi circostanti, e tener così in equilibrio il fluido resinoso; il perchè quando si traeva dal conduttore la scintilla, quest'equilibrio era rotto, e nel riprender l' animale tutto ad un tratto il suo fluido vitreo, questa sollecita combinazione de'due fluidi, o il ristabilimento del loro equilibrio, produceva le contrazioni osservate.

Ma il genio indagatore di Galvani non si fermò a questa sola sperienza. Preparò egli una rana in modo che tagliatene le braccia e la testa, toltane la pelle e i visceri, e tagliata parte della spina dorsale, restassero i nervi crurali isolati nel mezzo di essa (1), e postala sospesa pe'nervi al ferro di un balcone, non ap-

(1) Si prepara la rana, prendendola con la mano sinistra, poi con una forbice si taglia la testa da sotto le braccia, si porta via la pelle ed i visceri, e colla punta di una lama della stessa forbice, posta sotto i nervi crurali, si taglia la spina dorsale, prossimamente ove questi sono attaccati, tagliandone dopo un altra porzione in sotto, affinchè questi restino isolati.

pena toccava i muscoli delle cosce con una lamina di rame, vedeva la rana convellersi meglio che quando operava con la scintilla elettrica a distanza o per influenza. Supponendo dopo Galvani, che l'effetto fosse stato prodotto dall'azione de'due metalli eterogenei, pose direttamente un armatura metallica tra i nervi crurali, ed un altra di metallo diverso tra i muscoli della coscia, e non appena ne stabilì il contatto con le due armature per mezzo di un arco metallico, che adoperò come conduttore, vedeva prodursi le convulsioni nell'animale come nelle altre precedenti sperienze. Dietro queste ed altre osservazioni, che Galvani pubblicò nel suo trattato, *De viribus electricitatis in motu musculari commentarius*, Bononiae 1792, credè dedurne l'esistenza di una elettricità propria al corpo dell'animale, la quale era trasmessa ed accumulata nelle fibre muscolari, per una legge analoga a quella della boccia di Leyden, essendone il loro interno caricato di elettricità positiva, e l'esterno di elettricità negativa; ed in conseguenza, quando mettevasi in contatto i nervi co' muscoli col mezzo di un arco metallico il pronto equilibrio de'due fluidi dava luogo alle contrazioni nell'animale.

Galvani si avvisò dopo di considerare i muscoli principali *serbatoj* di quella elettricità, che egli disse *animale*, de'quali ciascun fibra doveva supporsi aver due superficie, che dovevano posseder per tale mezzo le due elettricità, positiva cioè, e negativa, presentando ciascuna di esse una piccola boccia di Leyden, di cui i nervi n'erano i conduttori. Aggiunse Galvani, che i nervi che si distribuiscono su le diverse parti del sistema muscolare, e che ricevono e trasportano il fluido elettrico, hanno un origine comune, che è l'organo del cervello; il perchè era probabile, che tali nervi, che variano tanto nella loro struttura ne'diversi animali, fossero gli organi secretorii di un fluido speciale, che è quello che provoca le contrazioni musculari. Ed in ultimo egli pensava, che il fluido elettrico animale attingevasi e traevasi dall'interno de'muscoli ne'nervi, e passava quindi da questi su la superficie esterna de'muscoli; onde che a ciascuna scarica di questa specie di piccola boccia elettrica, corrispondeva una contrazione muscolare, ch'era l'effetto dello *stimolo* cagionato dalla elettricità animale.

508. La teorica di Galvani trovò non solo avversarii, che si diedero a confutarla, ma vi furon que'che scrissero ne'giornali (1),

(1) *Journat de Debats* an. 9 t. 7 *Vendemiarie* an. 10 Leggesi ancora in un opera di Dumeril, intitolata *Biblia naturae*, il seguente fatto osservato da Swatmmerdam: In un tubo cilindrico di vetro si metta un muscolo da cui esca un nervo a cui si è avvolto un sottil filo di argento, in modo da tenerlo sollevato senza troppo stringerlo. Questo primo filo fatto passare a traverso un anello praticato all'estremità di un piccolo supporto di rame, saldato sopra una specie di pistone, disponendo il filo d'argento in modo che passando tra il vetro

essersi provato a'fisici, che la pretesa scoperta del galvanismo era registrata in un opera data alla luce a Bovillon nel 1769, intitolata *Temple du bonheur*, e nella *Théorie générale du plaisir* di Sulzer, stampata la prima 12, e la seconda 40 anni prima della scoperta di Galvani (1). Ma più di ogni altro Volta, che aveva dotata la fisica dell'eudiometro, e dell'elettrometro, si pose a tutta forza a combattere il fluido animale di Galvani, e provò esser que'fenomeni prodotti dall'elettricità svolta dal contatto de'metalli dissimili, perchè le contrazioni non avvenivano con un solo metallo, e che perciò non v'era alcuna elettricità propria al sistema animale, ma doversi riguardar l'animale vivente, o appena morto, qual semplice corpo umido conduttore.

Impegnatasi così *nobil gara* (2) tra Galvani e Volta, il primo opponeva aver suo nipote Aldini ottenute le stesse contrazioni nelle rane senza il mezzo di metalli, ponendo solo a contatto i nervi crurali co'muscoli delle cosce dell'animale. Volta rispose con valide sperienze, che questo fatto non era altra cosa, che una generalizzazione del suo principio, secondo il quale, due corpi differenti, fluidi o solidi, abbastanza conduttori, si costituiscono sempre in due stati elettrici differenti col semplice loro mutuo contatto. Ma nel mentre che le obiezioni del Volta erano specialmente avvalorate da altre sperienze di Pfaff, la stessa *teorica del contatto*, stabilita da Volta, veniva attaccata sul nascere da più fisici, ed in ispecialità da Fabroni, il quale provava il primo con una serie d'importanti sperienze, che l'elettricità creduta svolta col *contatto*, aveva per cagione un'*azion chimica*.

509. In questo mentre i fisici più valorosi si occupavano del

ed il pistone, possa il nervo esser tirato con la mano, e così toccando il rame, si vede il muscolo subito contraersi.

Questa sperienza fatta nel 1678, alla presenza del Gran Duca di Toscana, è vero che ha molta analogia con quella di Galvani, ma il modo in cui avvenne la scoperta del fisico di Bologna, e la teorica che ne trasse, prova chiaramente che egli ignorava del tutto lo sperimento di Swatmerdam.

(1) Sulzer non rapporta la sperienza precedentemente descritta, che ad oggetto di provare alcuni suoi ipotetici principii; de'quai il primo è, che l'anima senza un movimento analogo ne'nervi, non ha sensazione alcuna, e che l'essenza in generale de'sensi consista ne'nervi; il secondo è, che ogni sensazione è composta di gran numero di sensazioni momentanee, le quali si succedono con tale rapidità, da non lasciare ravvisare gl'istanti che passano da un corpo all'altro. Sulzer voleva dunque con quella sperienza provar solo i movimenti piacevoli che risultano dalle differenti sensazioni, non quello che indusse Galvani a ricerche assai più rilevanti, e diverse dalle sue.

(2) In molte fisiche si è detta *lutta terribile*, *accanita*, quella che invece era *nobil gara*, dappoichè lo scopo de'creduti due rivali, era assai nobile, mirando esso non a personal contesa, ma al progresso della scienza, ed a mantener saldo quell'onore, che Gioberti ha chiamato *primato* degl'Italiani. Senza questa gara, mentre Volta sembrava voler distruggere il *fluido animale* di Galvani, elevava invece il più grande monumento alla scienza fisica, con la scoperta della *pila*, che renderà sempre chiaro ed immortale il nome di Volta, e questo solo apparecchio è stato la sorgente delle più grandi scoperte fatte nel secolo in cui siamo, e non cesserà di arricchirne la scienza di altre di maggiore importanza.

soggetto in quistione. La scuola di medicina di Parigi prendeva subito dopo un più vivo interessamento alla scoperta di Galvani, per le applicazioni che credeva farne alla fisiologia; e perciò sceglievasi una commessione a fin di estendere quelle sperienze. L'Istituto nazionale non poteva al certo starsi indifferente al movimento generale, ed anch'esso nominava una commessione per esaminare e verificare i fenomeni galvanici. Gli organi degli uomini, e quelli degli animali, erano sottoposti all'azione movente de' metalli, cioè all'elettricità svolta dal contatto di due di essi. Lo stesso de Humboldt, che cominciava la sua carriera scientifica, pubblicò nel 1798 un opera sul galvanismo, ove eranvi registrati molti fatti importanti su quel suggetto. Non pertanto la gara sempre più ferveva tra i partigiani del fluido animale e quelli del contatto, quando il 20 marzo 1800, Volta scriveva a sir J. Bank, presidente della società Reale di Londra, per annunziarli la scoperta della *pila*, il più ammirabile strumento che le scienze abbian prodotto prima e dopo, ed al quale la riconoscenza pubblica ha consacrato il nome dell'inventore. L'anno appresso 1801, Volta si recava a Parigi per mostrare il suo nuovo apparecchio, ed esporne la teorica su i suoi effetti, in presenza della classe di scienze fisiche e matematiche dell'Istituto nazionale. Napoleone, allora primo console, che assisteva a quella solenne sessione, dopo qualche osservazione, propose primamente darsi a Volta una medaglia d'oro per la sua grande scoperta. La proposta del primo console fu confirmata da una commessione speciale, e prevedendo Napoleone da questa prima scoperta del Volta qual partito ne avrebbe tratto la filosofia naturale, volle ancora, il 26 prairial, anno X (1802), fissar due premii, uno di 3000 franchi per la migliore sperienza fatta nel corso di ciascun anno sul fluido elettrico, e l'altro di 60,000 franchi per colui che, con le sue scoperte farebbe dare all'elettricità ed al galvanismo, di cui era divenuto passionato ammiratore, un passo pari a quello che avevan fatto fare alla scienza Franklin e Volta. Quest'appello fatto da Napoleone a'fisici, fu sorgente di numerose ricerche su la pila, e quest'apparecchio, dietro le modificazioni fattevi da Cruikskhans, Wollaston, e poi da altri fisici, corrispose a quanto erasi dal primo console preveduto.

Pila voltaica — Forza elettro-motrice — Elettromotori.

510. Le sperienze fatte da Volta a fin di sostener la sua opinione contro una elettricità propria negli animali, precedentemente esposte, quantunque concludenti per alcuni fisici, altri domandavano un fatto più decisivo per metter termine alla quistione. Ma Volta non fece più a lungo attenderlo, e guidato dal suo ge-

nio e dalla sola forza del ragionamento, pervenne a trovarne uno, che fu origine della scoperta della *pila*, e così sodisfece a tutte le esigenze de'fisici, e tolse ogni dubio su la sua primitiva opinione, cioè che la cagione che produceva le commozioni nelle rane, era la elettricità ordinaria svolta col contatto di corpi eterogenei; lasciando così a Galvani tutto il merito della sua ipotesi d'un elettricità propria negli animali, a cui egli, dopo fatte più accurate indagini ed esperimenti, decisivamente intese rinunziare. Volta quindi ritenne a se la scoperta dello svolgimento dell'*elettricità per contatto;* dappoichè in tutte le sue sperienze era essenzialmente l'opera del contatto de'metalli, o delle stesse parti eterogenee dell'animale, cioè i nervi ed i muscoli, cagione dello sviluppo della elettricità ordinaria in essi simulata, a cui poi dovevano ripetersi i fenomeni detti *galvanici*. Ecco il fatto principale col quale si spiegarono tutti gli altri osservati, e da cui trasse origine la *pila*, ora detta *voltaica*, in onore di Volta che ne fu l'inventore.

Avendo posto in contatto due metalli differenti, che teneva per manichi isolanti, separandoli subito dopo nella direzione de'loro centri, trovò che essi erano costituiti in due stati opposti di elettrizzamento, cioè uno possedeva costantemente il fluido positivo e l'altro il fluido negativo, che egli pervenne a comprovare mettendo l'uno e poi l'altro in contatto col suo *condensatore*. A questa proprietà Volta diede il nome di *forza elettro-motrice*, e spiegò il primo effetto del contatto esser quello di scomporre il fluido naturale e dividerlo tra le due superficie poste in contatto, ed il secondo esser l'ostacolo prodotto dalla stessa forza elettro–motrice alla unione de' due fluidi separati, proprietà singolare di detta forza, perchè impedisce la elettricità ivi accumulata di passar liberamente ne'buoni conduttori. La velocità della forza elettro–motrice è grandissima, e perciò non possono scaricarsi i metalli del fluido acquistato così prontamente che si è prodotto. I corpi poi che così si stabiliscono in due stati elettrici opposti, col mezzo del semplice contatto, Volta li disse *elettro–motori*, e pervenne a misurarne la potenza elettro-motrice, dalla quantità di elettricità di cui potevano caricarsi, la quale trovò differire ne'diversi metalli, ma costante per ciascuno di essi; e poichè trovò maggiore questa quantità tra lo zinco, l'oro, ed il rame, rimpetto agli altri metalli, si valse del primo e dell'ultimo per comporne il suo primo apparecchio.

Dopo questo ragionamento, ecco come Volta pervenne a rendere più evidente la sua sperienza fondamentale che lo condusse alla scoperta della pila. Prescelti i due metalli zinco e rame, ne fece fare de'dischi, su i cui centri di una delle superficie piane vi fissò un manico di vetro, che per meglio isolarli, covrì con uno strato di vernice di gomma-lacca, e tenendoli per questi

manichi, uno in una mano, uno nell'altra, li pose a contatto con le loro superficie libere, e distaccatili subito dopo, portò quello di zinco sul conduttore attaccato al piatto inferiore del condensatore, descritto al § 481, e nel tempo stesso toccava il disco di rame sopra se stesso, per metterlo nello stato naturale, ripetendo allo stesso modo questa operazione per un numero di volte, a fin di accumulare nel piatto collettore dello strumento le piccole quantità di fluido vitreo che acquistava il disco di zinco, ogni volta che applicavasi su quello di rame; togliendo dipoi pel manico isolante il piatto superiore del condensatore, otteneva l'allargamento delle pagliuzze, e accostando un cilindro di gomma-lacca, elettrizzato prima per confricamento, all'estremità del conduttore attaccato al piatto inferiore, otteneva, che le pagliuzze elettrizzate col fluido positivo si avvicinavano. E ripetendo lo sperimento inversamente, cioè toccando col disco di rame le pagliuzze, e poi il piatto inferiore con un cilindro di vetro confricato, perchè quelle erano elettrizzate negativamente, ed il vetro positivamente, si aveva similmente l'avvicinamento delle pagliuzze. Ed in ultimo Volta, adoperando dischi di metalli differenti, e ripetendo l'esperienza allo stesso modo ne dedusse, dall'allargamento delle pagliuzze, la intensità di elettricità accumulata sopra ciascuno di essi, che pervenne a stabilirla nell'ordine seguente (1).

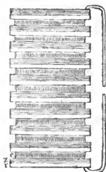
Zinco	Piombo	Palladio
Oro	Stagno	Platino
Rame	Argento	Nickel
Ottone	Manganese	Mercurio
Rodio	Cobalto	Bismuto

511. *Pila di Volta* — Dopo questi primi fatti, Volta prescelse, tra questi elettro-motori, lo zinco ed il rame per comporne il suo apparecchio, che ora si dice *pila di Volta*, *o pila voltaica*, e la unione de' due indicati metalli la disse *elemento* della pila. Ma come di ogni altra invenzione, il primo apparecchio dava effetti assai leggieri e poco durevoli, fissato bene dal Volta il principio su cui lo aveva costrutto, non fu difficile recarlo a quel grado di perfezionamento in cui ora si vede. Ne esporremo questi successivi miglioramenti, e le applicazioni più importanti che se ne son fatte da'fisici, da'chimici, e nella meccanica, in cui si è fatto servire come forza motrice ec.

(1) I metalli nelle serie seguenti, sono disposti nell'ordine della loro tendenza a prender la elettricità positiva o vitrea, e negativa o resinosa: ciascun metallo è positivo con quello che lo segue, e negativo con quello che lo precede.

512. *Apparecchio a corona di tazze.*—È questo il primo apparecchio immaginato da Volta, che lo fece con un numero più o meno grande di tazze di porcellana o bicchieri di vetro, disposti circolarmente, in cui faceva comunicare i due metalli, cioè zinco e rame, saldati all'estremità di un arco fatto con filo metallico, ponendo nelle tazze o ne'bicchieri acqua in cui aveva sciolto il sale comune. Così mettendo la lamina di zinco nel liquido del primo bicchiere o tazza, e quella di rame nel secondo, proseguì nello stesso modo a mettervi le altre, cosichè nel 2°, 3°, 4°, 5°, ec. eravi rame e zinco e nell'ultimo rame. Disponendo in circolo le tazze o i bicchieri, si aveva, che quelli che ne formavano gli estremi, che Volta disse *poli*, uno aveva lo zinco, l'altro il rame, e tutti gli altri contenevano i due metalli, o l'*elemento* così detto dallo stesso Volta, e l'apparecchio, per siffatto ordinamento circolare, si disse *apparecchio a corona di tazze*.

513. *Apparecchio torpedinale o a colonna*—Il secondo apparecchio fatto da Volta, lo disse *torpedinale*, come se la disposizione degli organi della *raja turpedo* glie ne avesse somministrata la idea, ma dopo fu detto a *colonna*, ed in ultimo *pila*, nome che ha dopo ritenuto. Compose questo con tanti dischi di zinco e di rame, e tondi di panno o di cartone inzuppati prima nel liquido che disse *eccitatore*, nel modo come vedesi nella figura a lato, cioè rame *r*, poi zinco *z*, e cartone *c*, proseguendo così sino a soprapporre 60 ad 80 di questi elementi, intermezzati dal panno o dal cartone bagnati nella stessa soluzione di acqua e sale, che aveva adoperata pel primo apparecchio. Alla estremità rame ed a quella dello zinco, attaccò un filo metallico per avere i poli + e —, cioè positivo e negativo, come sono segnati nella stessa figura.



Teorica di Volta su la elettricità per contatto.

514. Si è detto che la *elettricità per contatto*, da cui ebbe poi origine la scoperta della pila voltaica, traveduta da Sulzer sotto altro aspetto, fu nel fatto scoperta da Galvani, dappoichè egli il primo osservò prodursi i fenomeni nelle rane col *contatto* di due metalli eterogenei, ma Volta, come aveva anche dimostrato Pfaff, invece di ripeterli come credeva Galvani da una elettricità propria contenuta nell'animale, la fece derivar dal *contatto* di metalli eterogenei. Or sebbene Galvani s'incontrasse per il fatto meccanico nella scoperta dell'elettricità di contatto, questa scoperta si deve a Volta per averla sostenuta contro lo stesso Gal—

vani, che riguardava l'arco eccitatore come un sol mezzo di comunicazione delle due contrarie elettricità di quell'elettricismo, che reputava proprio negli animali, non già come cagione delle commozioni suscitate. Or se vogliasi attribuire all'uno o all'altro de'due fisici Italiani la scoverta dell'*elettricità del contatto*, la sua più positiva origine almeno comincia dalle sperienze di Galvani.

Teorica della pila—Nel contatto mutuo di due metalli eterogenei nasce una *forza elettro-motrice* per la quale l'uno è spinto a dare il fluido elettrico, l'altro a riceverlo, e se l'uno si elettrizza *positivamente*, l'altro *negativamente*. La forza dunque nata dal contatto, separa le due elettricità, e ne impedisce la loro unione, ma poichè que'due corpi oltre essere *elettro-motori*, sono nello stesso mentre *conduttori* dell'elettricità, deve seguirne, che non si tosto hanno essi acquistato una qualche *tensione* elettrica, debbono richiamare o sollecitare le due elettricità all'equilibrio; il perchè da queste due forze opposte deve risultarne un *maximum* cioè un *limite* alle due elettricità separate col contatto ed accumulate ne'due metalli. Rappresentando con $+1$ la elettricità positiva dello zinco, e con -1 la negativa del rame, la differenza 2 dello stato elettrico di loro è una quantità costante che serve di misura alla forza elettro-motrice, la quale rappresenta la quantità massima di stato elettrico de'due metalli che la forza elettromotrice può mantenere, impedendo essa stessa la ordinaria tendenza che hanno le due elettricità opposte ad unirsi. In un sistema di più coppie de' due metalli, come è quello della pila, la elettricità deve formarsi e trovarsi subito dopo accumulata alle estremità della stessa pila. Cosi in un disco zinco che si pone sul disco rame, la forza elettro-motrice deve dargli una carica elettrica in rapporto della loro forza elettro-motrice, così che lo zinco prende la elettricità positiva $+1$, ed il rame la elettricità negativa -1; ma poichè il rame comunica col suolo, deve il suo stato elettrico esser nullo, cioè zero. La condizione dunque del contatto dello zinco col rame, o che il primo abbia eccesso di elettricità $+1$, mettendo dopo su lo zinco un corpo conduttore, esso deve prenderne la elettricità, ed in conseguenza la condizione elettro-motrice non è più sodisfatta, perchè allora si scompone una nuova quantità di fluido naturale sino che lo zinco ed il conduttore che vi è sopra abbia la carica elettrica obbligata $+1$. Ma ciascuno elemento, o coppia zinco e rame che formano questo conduttore, dovendo, in ragione della sua forza elettro-motrice, stabilirsi in uno stato tale, che ciascun disco zinco abbia ancora questo eccesso di elettricità $+1$, per rapporto al rame su cui trovasi, ne segue che il secondo disco zinco deve avere una carica doppia del primo, la cui metà proviene dal che esso fa parte del conduttore su cui è posto il primo disco zinco, e l'altra metà ha

per origine la sua forza elettro-motrice, e perciò questo primo sistema conduttore avrà la carica $+2$. Lo stesso deve succedere pel terzo zinco che avrà la carica $+3$, e così per gli altri successivamente; in modo che la quantità di elettricità positiva deve farsi più grande a misura che più aumentasi il numero de'dischi. Quanto poi al disco sottoposto rame, esso resterà a zero, e ciò perchè la pila, per la sua costruzione, permette alla elettricità negativa del rame, che in quantità si è detto corrispondere al fluido positivo accumulato su i dischi di zinco, scorrere liberamente nel suolo. Che se poi la pila si costruisca con gli stessi elementi, ma mettendo lo zinco invece del rame in comunicazione col suolo, allora lo zinco sarà allo stato del rame, cioè a zero, e la elettricità negativa nel rame si troverà accumulata nel rapporto del numero de'dischi. In questi strumenti la *intensità* elettricità voltaica aumenta col numero degli elementi, e la sua *quantità* coll' estensione delle loro superficie, il perchè le pile fatte con piccoli elementi si son dette *pile di tensione*, e quelle a grandi elementi *pile di quantità*. Le prime valgono meglio a produrre le azioni chimiche, le seconde le azioni fisiche.

Consideriamo ora una pila *isolata*. La sua elettricità non potendo perdersi nel suolo, deve la pila considerarsi come formata da due pile costrutte in senso inverso, il perchè deve lo stato elettrico esser zero nel mezzo, positivo da un estremo, negativo nell' altro. E prendendo questo zero per punto di partenza delle due opposte elettricità, deve l' elettricità positiva trovarsi accumulata dalla parte ove i dischi rame sono più avvicinati a questo punto di mezzo, cioè a zero, e la negativa ove al contrario lo sono più i dischi zinco. Mettendo in comunicazione i poli di una pila isolata, essa scaricasi con una scintilla, ma poichè la forza elettro-motrice opera con una rapidità grandissima, deve la pila trovarsi caricata subito dopo, e produrre una serie non interrotta di scintille ogni volta che si avvicina l'uno all' altro polo.

515. Furono questi i primi apparecchi fatti da Volta, ma dopo si conobbe, 1 che era meglio saldar per gli estremi i due dischi che formano l'elemento della pila; 2 che questi potevano essere rettangolari, o di altra forma; 3 che per liquido eccitatore o conduttore, conveniva meglio l' acqua acidolata con acido nitrico, o acido solforico, che quella satura di sal comune o di sale ammoniaco; 4 che la *tensione* o carica di una pila, era in ragion diretta delle superficie o del numero degli elementi, convenendo più quelle a piccoli elementi per le azioni chimiche, che quelle a grandi elementi, le quali servono per operar la fusione de' metalli o produrre le azioni fisiche.

Fra queste ed altre osservazioni su la pila di Volta, Cruikshank vi portò la più importante modificazione, sostituendo alle *pile*

verticali di Volta, le *pile orizzontali*, che si dissero a *truogoli o a tinozze*; nelle quali essendo fissi gli elementi, possono le cavità che le separano empirsi di liquido eccitatore ; nel mentre che nelle altre precedenti, la tenue quantità di liquido di cui poteva inzupparsi il disco di panno o di cartone, ed il peso degli elementi superiori, che l'obbligava ad uscirne, e scorrer su le loro superficie esterne, doveva, nel primo caso renderne breve la durata degli effetti, e nel secondo stabilire una comunicazione tra tutte le parti dell' apparecchio, il che alterava la regolare accumulazione del fluido elettrico da basso in alto della pila, neutralizzandone una parte di quello che doveva accumularsi nella estremità superiore. Nella pila orizzontale che qui vedi, le lamine di zinco e quelle di rame sono rettangolari, e saldate pe'loro estremi. La lamina di zinco si fa di una spessezza almeno 3 a 4 volte maggiore di quella di rame, e l'elemento



così congiunto si situa nelle scanalature anche rettangolari, praticate nella cavità della tinozza, avendone coverto, prima tutto l'interno con mastice coibente, fatto con 4 parti di polvere di mattone, 3 di resina o pece, ed 1 di cera gialla, affinchè si tengano isolate, in modo che il liquido eccitatore non passi dall' una all'altra celluletta che separa l'uno dall'altro elemento. Ai due estremi, cioè su la superficie rame *r*, e zinco *z*, sono saldati i due fili conduttori *a c*, che ne formano, il primo il polo negativo o resinoso, ed il secondo il polo positivo o vitreo della pila.

516. Fu questa la più importante modificazione fatta alla pila da Cruikshank, poichè le *pile verticali* di Volta, presentavano grandi inconvenienti quando se ne aumentava il numero degli elementi. E quantunque nel 1801 Thenard ed Hachette avessero con quella bruciati de'fili metallici che univano i due poli, tutt' i fisici sentivano il bisogno di costruir pile che potessero funzionare per un tempo assai più lungo, ed in modo sensibilmente costante. La *pila a tinozza* sodisfece a questo primo bisogno, ma restava ancora qualche passo a fare per aver pile di maggiore energia ed a forza costante. Pepys annunziò che la presenza dell' ossigeno era indispensabile per produrre lo sviluppo dell'elettricità con questi apparecchi. Biot è F. Cuvier confirmarono questo fatto, e per dimostrare l'identità dell'elettricità galvanica con l' elettricità ordinaria, Wollaston provò potersi con quest'ultima produrre tutti gli effetti della pila; e facendo passare l'elettricità a traverso le punte di fili metallici assai sottili in una soluzione salina, ne produsse la scomposizione, il chè bastò per distruggere compiutamente la teorica di Galvani. Da ogni dove si facevano ricerche su gli effetti chimici della pila. Ricter, che

se ne occupava con più ardore, osservò che due lamine di platino che erano servite da conduttori per la scomposizione dell'acqua, acquistavano una proprietà *polare*, in virtù della quale divenivano atte a produrre una *corrente secondaria*, diretta in senso inverso, quando si mettevano in comunicazione con un filo di questo metallo; e poco dopo pervenne, partendo da questo principio, a comporre *pile secondarie*, mettendo tra due dischi di uno stesso metallo un tondo di cartone bagnato. Davy occupossi primamente degli effetti calorifici prodotti nelle scomposizioni elettro-chimiche, che furono il preludio di quelle che fece dipoi nel 1810 su i metalli degli alcali e delle terre. Nicholson, Berzelius, ed altri fisici avevan fatto conoscer la scomposizione dell'acqua e delle soluzioni saline. Lo stesso Berzelius ed Hisinger trovavano una serie di nuovi risultamenti, ed esaminarono l'azione della pila su le materie organiche. Brugnatelli otteneva che il sangue si coagulava e perdeva il suo colore al polo positivo. Vassalli-Eandi, Giulio, e Rossi, pubblicavano alla lor volta le sperienze fatte sul cuore, su le arterie, su i cadaveri decapitati, e su quelli sospesi col laccio su le forche ec. Le ricerche dunque su gli effetti della pila, riguardavano non solo l'azion fisica e chimica, ma anche l'azion fisiologica. Nondimeno non erasi data alcuna teorica per dare ragione delle scomposizioni elettro-chimiche. Grottus ne propose una che sodisfece pel momente sino ad un certo punto a'bisogni della scienza. Partendo egli dall'osservazione di Ricter, ammise che l'acqua, o ogni soluzione sottoposta all'azione della pila, diveniva una vera pila secondaria, le cui parti costituenti ubbidivano all'azione della corrente la quale, polarizzandole, le allontanava successivamente, trasportandole sino a'poli, ove poi si fermavano, perchè non potevano penetrare nel metallo.

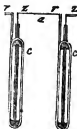
517. I fenomeni intanto delle scomposizioni operate con la pila erano sempre avvolti in un mistero. Sin dal 1805 Davy aveva fatte molte osservazioni sopra questo soggetto, che avevano attirata l'attenzione de'fisici, ma la scoperta del *potasio* e del *sodio* e poi quella de'*metalli delle terre*, fissò una nuova era per l'elettro-chimica, e Davy preoccupato sempre dall'idea che l'elettricità voltaica dovesse vincere le affinità più energiche, pervenne, con una pila orizzontale fatta con 250 elementi, avendo ciascuno 8 pollici quadrati di superficie, a realizzar col fatto la sua supposizione, e provò che gli alcali e le terre, creduti semplici, erano ossidi metallici.

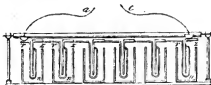
Dopo questa scoperta fatta dal chimico Inglese, tutti si occuparono degli effetti chimici della pila, e delle ricerche atte a stabilire i rapporti tra le affinità e le forze elettriche, avendo Œrsted fin dal 1809 avanzato in più memorie, essere esse identiche. Ma Davy gittò le vere basi della teorica elettro-chimica,

che venne dopo adottata e recata a perfezionamento da Berzelius, il quale n'ebbe poi il merito di farne la base della chimica e della mineralogia moderna.

Tante ricerche su l'operar della pila, dovevano contribuire non solo alla scoperta di nuovi fatti e nuove leggi, ma anche a perfezionar la stessa pila, come erasi prima congegnata. Le tante sperienze avevan provato, che bisognava distruggere uno dei metalli nella pila perchè questa operasse. Hachette e Desormes pensarono sopprimere il liquido acido e sostituirvi la colla di amido. Deluc nel 1809 trovava una combinazione di coppie voltaiche che senza liquido davano effetti elettrici di tensione, e Zamboni perfezionando quest'apparecchio scopriva la *pila a secco*, soprapponendo semplicemente dischi di carta dorata e di carta argentata, in numero più o meno considerevole. Ma il maggiore perfezionamento fatto alla pila di Volta, lo dobbiamo a Wollaston, il quale partendo dal principio che la tensione di una pila è in ragione delle superficie degli elementi, scoperse un errore grave nelle pile con gli elementi congiunti, perchè le due superficie occulte dovevano considerarsi nulle, ma quando queste erano libere, ed in contatto del liquido eccitatore, doveva questa pila operar col doppio della tensione che l'altra che le aveva congiunte.

518. *Pila elementare di Wollaston* o a *doppio elemento*—In questa pila la lamina di rame è ripiegata sopra quella di zinco che li sta in mezzo, e perciò le due facce della lamina di rame son poste in contatto con le due facce della doppia lamina di rame per mezzo del liquido in cui sono immerse. La figura mostra due di questi elementi. In essi *r c* dinota la doppia lamina di rame e *z z* le due lamine di zinco che vi sono nel mezzo isolate da un pezzetto di sughero, e per tenerle equidistanti dalle due lamine di rame. In alto vedesi la estremità *r* congiunta in *a* con la estremità *z*, e così vengono disposte le comunicazioni degli altri elementi, come vedesi meglio nella figura qui sotto.





La figura qui sopra dimostra la stessa pila con sei elementi immersi ne'rispettivi bicchieri, in cui si mette il liquido eccita-

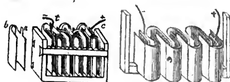
tore, che d'ordinario si fa con 1 parte di acido solforico, e 20 a 25 di acqua. Le lettere *r z* dinotano le lamine di rame e zinco, e ne'due estremi, vi sono attaccati i due poli *a c* che d'ordinario si fanno con grossi fili di rame, o di altro metallo; come nelle altre pile descritte.

Sopra lo stesso principio furono costrutte altre pile a doppio elemento, e tra queste vi ha primamente quella fatta con le scatole rettangolari di rame, entro cui si mette il liquido eccitatore. Le lamine di zinco sono attaccate ad un asse di legno, orizzontalmente posto sopra le sudette scatole, collocate su la stessa linea in modo che abbassando l'asse di legno, quelle di zinco s'immergano in mezzo del liquido senza toccar nè il fondo, nè le pareti del rame, ed alzandolo ne escano fuori dopo l'esperienza. La comunicazione tra un elemento e l'altro, trovasi fatta per mezzo di grossi fili metallici saldati su la estremità superiore delle lamine di zinco, in modo che quando queste s'immergono nel liquido, que'conduttori entrano nelle cavità di metallo, piene di mercurio, che sono saldate sopra uno de'lati della lamina di rame, a fin di permettere, che col mezzo del liquido metallico, assai meglio conduttore della elettricità, possa più facilmente la comunicazione tra tutti gli elementi trovarsi stabilita, allo stesso modo che si è detto per le altre pile.

519. *Pila di Children*—La pila più grande, fatta dietro il consiglio di Wollaston, è quella di Children, che conteneva 32 elementi, e con cui si ebbe la fusione di que'metalli che non si erano liquefatti con altri mezzi, cioè il platino, l'irido, ec. Ciascuno elemento di questa pila era formato da una grande lamina di zinco ed un altra di rame doppia, come nell'elemento della pila di Wollaston, avendo la prima una superficie di 12 piedi inglesi quadrati.

520. *Pila ad elica*—Questa pila è una modificazione della pila di Woltaston, ed è destinata a produrre grande quantità di elettricità senza dare grandi tensioni. La disposizione adottata da Pouillet, per quella fatta costruire per la Facoltà delle scienze, consiste nell'avvolgere sopra un cilindro di legno di un decimetro di diametro e 3 a 4 decimetri di lunghezza, due lamine, una di zinco e l'altra di rame, separate da' loro estremi da un orlo di panno, unite da piccole corde, la cui spessezza è poco meno di quella dell'orlo del panno. Si hanno così coppie nelle quali i due elementi hanno ciascuno 5 a 6 metri quadrati di superficie. Una sola coppia è capace di produrre effetti fisici assai energici, e quando si uniscono solo 20 di queste coppie, che si tengono immerse nel liquido eccitatore, come l'elemento di Wollaston, si ha una batteria voltaica di una potenza straordinaria, e tale da riscaldare e fondere subito non già fili, ma spranghe metalliche.

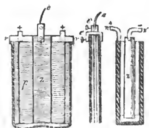
Le figure qui sotto rappresentano la pila di Young e quella di Munch.



521. *Pila di Young e di Munch* — La prima figura a sinistra dinota la pila di Young, con cui possono comporsi facilmente batterie voltaiche di un gran numero di elementi, perchè occupano poco spazio. La lamina di zinco deve esser tagliata con l'appendice *a*, che si salda ad un altra simile che stà sulla lamina di rame *b*, tagliata allo stesso modo, solamente nell' unirle, la estremità *b* che unisce le due parti di una lamina, è posta sempre da un lato per lo zinco, e sempre dall'altro pel rame; in siffatto modo ciascuna lamina di zinco trovasi tra due lamine di rame, e ciascuna di questa tra due di zinco. Ne' due estremi si attaccano come l'ordinario il polo *c* + su lo zinco, ed il polo *t* — sul rame. Da questa disposizione risulta, che lo zinco attaccato dall'acido è caricato di elettricità negativa, che si comunica metallicamente al rame col quale è congiunto lo zinco, il perchè nello stesso tempo tutto lo zinco e tutto il rame si trovano caricati della stessa elettricità negativa; ma l' idrogeno che risulta dalla scomposizione dell'acqua, e che trovasi caricato di elettricità positiva, incontra ad una piccola distanza una superficie negativa che l'attira, e su la quale sviluppasi dopo avervi deposto la sua elettricità positiva. In questa pila importa molto che tutte le lamine di zinco vengano attaccate con la medesima energia, dappoichè quelle di rame che l'avvolgono, non ricevono da esse l'elettricità negativa che deve neutralizzar la elettricità positiva dell'idrogeno che lo zinco ha posto in libertà (*Philosoph. Mag.* 1837, t. X, p. 241).

La *pila di Munch*, che è rappresentata dall'altra figura a destra, offre una disposizione più semplice di quella di Young, ed è assai più facile a costruirsi, nel mentre che offre i medesimi vantaggi, e 50 elementi occupano appena 3 decimetri di lunghezza. Il liquido è posto in un truogolo di legno masticato nell'interno, in cui s'immerge poi la pila. Lo zinco è amalgato, ed i suoi effetti sono energici ed assai durevoli. I poli — e + sono allo stesso modo attaccati, il primo alla estremità rame, il secondo alla estremità zinco. Pouillet reputa questa pila più comoda delle altre, quando trattasi di unire un gran numero di elementi sotto un minor peso e volume.

522. *Pila di Smèe e di Sturgeon.* La prima e seconda figura quì a lato rappresentano l'*elemento* e la *pila* di Smèe, e la terza l'elemente di Sturgeon. La prima è veduta di fronte, e la seconda di profilo. Si compone della larga lamina di *platino platinato* (1) *p*, che è tra le due facce della lamina di zinco *z*, come vedesi nella seconda figura di profilo, in cui la linea di mezzo rappresenta la lamina di platino, e le altre due linee verticali quelle dello zinco amalgamato (2), la cui larghezza e poco più del terzo di quella della lamina di platino, la quale è fissata superiormente a quella di zinco tra due regoli di legno *r r*, il cui prolungamento poggia sul vaso di vetro, o di porcellana, in cui s'immerge l'elemento, e servono a sostenerlo. Le due estremità dello zinco poggiano e vi son premute contro i due regoli di legno, per tenerle isolate dal platino, come nell'elemento di Wollaston: la spessezza de' regoli determina la distanza che deve esservi tra la lamina di zinco e quella di platino.



Il liquido acido in cui s'immerge l'elemento di Smée, è fatto con 7 parti di acqua ed 1 di acido solforico del commercio. Negli elementi di grande dimensione, come è quello rappresentato dalla prima figura a sinistra, la lamina di platino ha 200 millimetri di altezza, e 130 di larghezza; lo zinco, 180 di altezza e 55 di larghezza. I segni + e — dinotano la elettricità delle rispettive lamine, la quale passa pe' soliti fili che ne stabiliscono i poli, ed in una pila di più elementi, la comunicazione si fa come in quella di Wollaston. Le ricerche fatte su gli effetti prodotti, sembrano provare, che la elettricità che risulta dalla scomposizione dell'acqua, è la sola che determina la corrente nella pila di Smée.

523. *L'elemento di Sturgeon*, che è rappresentato dalla terza figura a destra, è presso a poco analogo a quello di Smée, e si compone di un vaso cilindrico di ferro fuso, alto 250 millimetri, e

(1) Si è detto *platino platinato*, il deposito nero di platino ridotto che si ha su la lamina di platino ben pulita, quando s'immerge in una soluzione di doppio cloruro di potassio e di platino, tenendolo in comunicazione col polo negativo di una pila poco energica, e facendo immergere il polo positivo nella stessa soluzione sino che il platino vi si deponga in una polvere nera. Se il polo positivo fosse esso stesso una lamina di platino, sarebbe allora attaccato dal cloro, e la soluzione conserverebbe il suo grado di saturazione.

(2) Per amalgamar lo zinco, si mette il mercurio ed acido solforico in un largo piatto, e dopo bagnato coll'acido la superficie dello ziuco, vi si stropiccia con un panno di lana il mercurio, il quale si vedrà poco dopo aderir su lo zinco. Kemp fu il primo a provare i vantaggi che si avevano dallo zinco amalgamato nella composizione degli apparecchi voltaici, come poi diremo appresso.

largo 76, che si riempie di un liquido composto di 8 parti di acqua ed 1 di acido solforico di commercio, e dopo vi s'immerge nel centro il cilindro di zinco *z* amalgamato, il quale deve poggiar sopra un disco di legno affinchè non tocchi il fondo del vaso di ferro; *n* ed *n'* rappresentano i poli dell'elemento. I fenomeni che si producono sono gli stessi di quelli che manifesta l'elemento di Smée. L'idrogeno sviluppasi in abbondanza su la parete interna del vaso di ferro, ma pare che la intensità della corrente sia più grande quando queste pareti sono ossidate, il che fa presumere dover essa dipendere dall'opera dell'idrogeno che riduce l'ossido che si forma, o che si sviluppa più facilmente su le molecole o le punte delle rugosità del ferro così disossidato. Una pila fatta con 8 a 10 elementi può produrre effetti abbastanza energici.

Un elemento presso a poco simile portai da Vienna sin dal 1831, e che adopero nel corso delle mie lezioni di fisica pel moto di rotazione di una calamita temporanea, che descriverò appresso. Esso è fatto con vaso cilindrico di rame, nel cui mezzo è un altro cilindro dello stesso metallo, e tra questi entra quello di zinco, anche isolato come quello di Sturgeon: i poli sono attaccati, uno su lo zinco, e l'altro su la estremità del vaso di rame.

La pila o l'elemento di Wollaston, di Young, di Munch, e quello di Smée e di Sturgeon, sono tutte caricate con un liquido, e la elettricità vi è sempre prodotta dalla scomposizione dell'acqua, che deriva dall'affinità dello zinco per l'ossigeno. I due metalli sono allo stato negativo per la comunicazione più o meno conduttrice che hanno tra essi fuori del liquido eccitatore, e l'idrogeno, che è positivo, arriva all'elemento non ossidato di platino, rame, ovvero ferro, perchè uno di questi è caricato di elettricità negativa che ha ricevuta dallo zinco, e scomponendo così l'acqua in senso inverso, cioè prendendone l'idrogeno, può compiere il circuito per le scomposizioni successive tra tutte le molecole liquide che separano i due metalli dell'elemento. La tensione elettrica elementare di queste diverse pile, e la quantità di elettricità sviluppata sopra una data superficie, deve dunque variare a cagione degli stati diversi in cui trovasi lo zinco, per effetto della conducibilità propria del liquido, ed in ultimo per lo stato differente in cui si trovano le superficie su le quali l'idrogeno si sviluppa o si combina per operare le riduzioni degli ossidi formati.

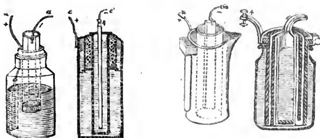
Elementi e pile a due liquidi, detti a corrente costante.

524. L'elemento più semplice a due liquidi, che dà correnti di una intensità costante, è quello di Daniell, che si conosce anche col nome di *pila a bocale.* Dapprima fu fatto con un vaso cilin-

drico di lamina di rame chiuso sotto e sopra, in cui vi si mette sabbia o altro corpo perchè si tenga meglio immerso nel liquido. Nella parte superiore vi è un rilievo che ha d'intorno sul piano del fondo superiore più buchi, affinchè possa da ivi versarsi il liquido. Questo vaso entra, in un altro fatto con una membrana di vescica, e questo in un cilindro di zinco aperto sotto e sopra, e tagliato longitudinalmente per poterlo allargare o stringere, i quali poi si mettono in un vaso di vetro. Su lo zinco si fissa il polo positivo, e sul rame il polo negativo. Per mettere in opera questo elemento, si versi da sopra il primo vaso di rame una soluzione satura di solfato di rame (vitriolo turchino), la quale passa nell'inviluppo della vescica, e nel vaso di vetro si metta una soluzione di solfato di zinco (vitriolo bianco), o di cloruro, di sodio, lasciando altro solfato di rame pesto grossolanamente sul vaso di rame a fin di tener sempre satura la soluzione dello stesso sale. Non appena si stabilisce la comunicazione tra le due soluzioni, si avrà una corrente d'intensità costante che dura per piu ore, ed anche per giorni, se la comunicazione rimane la stessa. Quando la corrente è stabilita, la superficie del rame si covre di un deposito di rame ridotto che vi aderisce appena, e che proviene dalla scomposizione del solfato, il perchè facendosi più debole la soluzione nella vescica, vi si tengono i cristalli dello stesso sale a fin di sostituir quello che si scompone, quando si vuole che la pila operi per lungo tempo; all'opposto la soluzione di solfato di zinco non s'indebolisce, perchè altro successivamente se ne forma per l'opera dello zinco che si ossida, e si sostituisce a quello che vien separato.

La pila di Daniell formasi con più elementi uniti sia con i poli simili, quando vogliasi quantità di elettricità più considerevoli con la stessa tensione, sia con i poli contrarii ove si volessero tensioni più grandi con la stessa quantità di elettrico.

525. *Elemento di de Larive*. Adottando de Larive la forma dell'elemento di Grove, pensò sostituire il perossido di piombo all'acido nitrico, o altro corpo conduttore facile a disossidarsi. Questo perossido, è compresso nel diaframma da ciascun lato della lamina di platino, ed associando più elementi al perossido di piombo, o uno di questi elementi con quello di Grove e di Daniell, si avranno più sodisfacenti risultamenti. Egli conobbe ancora, che la sostituzione di una lamina di rame a quella di platino diminuiva la intensità della corrente. *Ann. de Phys, et de chim.*, 1843 t. VIII, p. 36).



526. Le quattro figure qui sopra rappresentano, la prima *l'elemento di Becquerel*, la seconda e terza quello di *Daniell* modificato, e la quarta *l'elemento di Bunsen*.

Nell' *elemento di Becquerel*, vi è un largo tubo di vetro chiuso in basso da un turaccio, su cui si mette uno strato di kaolino di un centimetro di spessezza, esente di carbonato di calce, umettato con una soluzione di sal comune, riempiendolo dopo con una soluzione concentrata di potassa. Il tubo s'immerge in un bicchiere pieno di acido nitrico o azotico concentrato, mettendo dopo una lamina di platino nella soluzione alcalina per aver il polo negativo o resinoso, ed un altra simile lamina di platino nell'acido pel polo positivo o vitreo, i quali sono segnati col — e + nella figura. Non appena la comunicazione è stabilita, si vedrà sviluppar l' ossigeno in abbondanza su la lamina che è al polo negativo, nel mentre che vedesi scomporre l'acido nitrico su la lamina del polo positivo, e passare in acido nitroso o iponitroso, senza sviluppo di gas. Becquerel crede, che la lamina immersa nell'alcali prende l'elettricità negativa, e quella ch'è nell'acido la elettricità positiva. Con più di questi elementi egli ha fatto una pila la cui potenza ha trovato essere assai energica, e gli effetti costanti.

527. *L'elemento di Daniell* venne modificato sostituendo alla vescica un vaso poroso di porcellana cotta imperfettamente e non verniciata, entro cui è posto il cilindro di zinco, e l'uno e l'altro si fanno entrare in un vaso di rame, che nella terza figura ha una vaschetta attaccata ad un condotto laterale aperto in basso, per la quale si versa la soluzione di solfato di rame, e nella vaschetta vi si mette l'altro solido. Dentro il vaso di porcellana ov'è il cilindro aperto di zinco, vi si mette l' acido solforico allungato, ovvero una soluzione di solfato di zinco, o di cloruro di sodio ec. Lo zinco si amalgama prima d' immergerlo nell' acido nel modo esposto nella nota del § 522.

528. *L'elemento di Bunsen* poco differisce da quello di Daniell.

Esso è nondimeno più semplice, e produce effetti assai superiori agli altri elementi descritti. Si compone, come vedesi nello spaccato dell'ultima figura a destra, del piccolo cilindro vuoto di zinco senza fondo; di un vaso poroso di argilla cotta con fondo; di un cilindro aperto ma assai più spesso di carbone (1) che ha nella parte superiore un orlo coverto da una lamina di rame su cui è saldata quella che li serve di polo, o di conduttore quando si volesse stabilir la comunicazione con altri elementi, essendovi l'altra saldata sul cilindro di zinco amalgamato, ed in ultimo di un vaso di vetro con orlo più stretto entro cui si pongono gli altri tre descritti. I liquidi che si adoperano sono: l' acido nitrico del commercio, che si mette nel vaso di vetro in cui è il cilindro di carbone, e l' acido solforico allungato con 10 a 12 volte il proprio volume di acqua, che si mette nel vaso di argilla. Lo zinco ed il carbone sono i due corpi che ricevono la elettricità.

Adoperando lo zinco bene amalgamato, tanto nell'elemento di Bunsen che in quello di Smée, esso non dinota alcuna azione sin tanto che la comunicazione non è bene stabilita all'esterno tra lo zinco ed il carbone, perchè non appena questa ha luogo, lo zinco si ossida, ed il solfato zincico si forma; l'acido nitrico è in parte disossigenato, senza che manifestati sensibile svolgimento di gas tanto sul carbone che sta immerso nell' acido nitrico, quanto nello zinco che è nell'acido solforico. In questo mentre la corrente passa ne'conduttori andando dal carbone allo zinco, e perciò il carbone forma il polo positivo e lo zinco il polo negativo. In questo elemento la elettricità è anche esclusivamente prodotta dalla scomposizione dell'acqua, e l' origine dell'azione sembra essere ancora nell'affinità dell'ossigeno per lo zinco. La massa di zinco si trova costituita allo stato negativo, ed il carbone divide questo stato da che vi è posto in comunicazione per mezzo di conduttori esteriori; allora, come avviene parimenti nell'elemento di Smée, la catena liquida può essere scomposta per le sue due estremità, prendendo lo zinco l'ossigeno ed il carbone l'idrogeno, il quale trovandosi allo stato nascente, reagisce su l'acido nitrico per toglierli l'ossigeno che ha perduto.

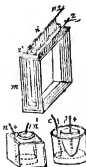
La *pila di Bunsen*, fatta con più elementi, conserva una forza sensibilmente costante per molto tempo, e perciò merita la preferenza quando vogliansi avere effetti più durevoli, regolari o costanti; più non vi ha formazione di alcun deposito, ed in conseguenza non occorre alcuna cura per tenere i liquidi eccitatori nello stato di convenevole saturazione, e dopo usata, basta la-

(1) Si hanno questi cilindri comprimendo il carbon fossile (huille) in polvere, impastato con olio grasso o con una soluzione sciroppposa, in una forma appositamente fatta di ferro, facendoli dopo cuocere ad un fuoco assai vivo. Essi conducono assai bene l'elettrico, e non sono alterati dall'acido nitrico.

varne semplicemente le parti, ed amalgamar nuovamente lo zinco, ove vogliasi adoperarla un altra volta.

529. *Elemento di Schoenbein.* È questo una modificazione del precedente. In vece del vaso di vetro si adopera un vaso di ferro fuso reso *passivo*, in cui si mette un mescuglio di 3 parti di acido nitrico, ed 1 di acido solforico. Il cilindro di carbone e soppresso, e nel cilindro o diaframma di terra porosa, in cui si mette quello di zinco amalgamato, e l'acido solforico diluito, si situa in mezzo del vaso di ferro, che diviene così il polo positivo della pila. In un altra combinazione Schoenbein sostituì allo zinco amalgamato una ghiera di ferro fuso non *passivo*. Le azioni chimiche sono le stesse che quelle dell'elemento di Bunsen (*Archiv. de l'electricité*, de M. de Larive, t. 11, p. 286.

530. *Elemento di Grove, e di Wheatstone.* La 1ª fig. è l'elemento di Grove con zinco amalgato, la 2ª a destra con amalgama pastosa, la 3ª a sinistra è l'elemento di Wheatstone, anche ad amalgama pastosa. Il primo ha come gli altri anche piccole dimensioni, e si compone del diaframma poroso *d* che ha la forma di paralellepipedo, ed in cui si mette l'acido nitrico concentrato, ed una lamina di platino; del vaso poroso esterno *m* che contiene l'acido solforico allungato, ed una lamina di zinco amalgamata e ripiegata sotto il diaframma, ne' cui lati vi resta molto avvicinata: *n z* ne rappresentano i poli. L'azion chimica è la stessa che quella nell'elemento di Bunsen, ma l'elemento di Grove perde molto di forza quando l'acido nitrico si fa più debole, perchè si sviluppi idrogeno su la lamina di platino.



Il 2° elemento a destra è anche di Grove, e lo ha detto ad *amalgama pastosa*. È questo il più piccolo di quanti sen sono immaginati, e consiste in un diaframma poroso in forma di *testa di pippa*, che si mette in mezzo di un bicchiere ordinario che si riempie di acido nitrico, e nel diaframma si mette l'amalgama di zinco in pezzi, con l'acido solforico allungato. I due poli *c c'* son posti, il positivo nell'amalgama, ed il negativo nell'acido nitrico. Questo elemento differisce da quello di Bunsen per lo stato dell'amalgama, per la natura del diaframma, e pel polo positivo *c'* che è una lamina di platino.

Il 3°, anche piccolo elemento a destra, è di Wheatstone, e si compone di un vaso poroso di argilla ordinaria, cotto a metà, che si riempie di amalgama pastosa di zinco, in cui s'immerge il filo di rame *n'* che ne segua il polo negativo. Esso è posto nel mezzo di un vaso di vetro o di porcellana, che si riempie di soluzione satura di solfato di rame, da dove esce il polo positivo *n*,

che è saldato ad una lamina di rame immersa nella stessa soluzione. Quando i due fili non comunicano tra loro, l'azione è lenta, ma non appena sono in contatto, l'azione diviene energica ; l'acqua è scomposta, lo zinco si ossida, l'amalgama diviene negativa, e questa elettricità negativa si trasmette subito alla lamina di rame che stà nella soluzione del suo solfato; allora l'idrogeno positivo, che risulta dalla scomposizione dell'acqua, si porta sul rame e riduce l'ossido del solfato, dando luogo ad un deposito di rame metallico, mentre che l' acido divenuto libero si combina coll'ossido di zinco. Così per un equivalente di zinco ossidato vi ha un equivalente di rame disossidato, ed il solfato di zinco che si forma si porta sopra l'amalgama. Quest'elemento ha una forza sensibilmente costante, sino che il vaso poroso permette una libera circolazione de' liquidi, e che la soluzione del sale di rame è mantenuta ad uno stato convenevole di saturazione. V. *Elettro-chimica*.

531. *Pile secche*. Queste son fatte da elettro-motori poco energici, tra i quali s'interpone un conduttore solido. Hachette e Désormes sostituirono la colla d' amido al liquido delle pile a colonna, come anche Deluc trovò una coppia voltaica fatta con carta dorata e lamine sottili di zinco, poste su la superficie dorata, che funzionava senza il mezzo di un liquido. Si fecero dopo con cartone reso umido col tenerlo esposto a' vapori acquosi dell'atmosfera, covrendone una faccia con sottil lamina di zinco, e stropicciando su l' altra la polvere finissima di perossido di manganese, col mezzo di un turaccio di zughero. Si riuniscono più migliaja di dischi così preparati, mettendo il manganese dell'uno in contatto collo zinco dell'altro. Zamboni perfezionò quest' apparecchio, e lo destinò ad avere un moto oscillatorio continuato, che si disse anche *moto perpetuo*. Egli compresse in un tubo di vetro più migliaja di dischi di carta stagnata, detta argentata, covrendone la superficie opposta con uno strato assai sottile di perossido di manganese porfirizzato, con un mescuglio di farina elatte. La sola umidità basta in queste pile secche allo svolgimento del fluido elettrico ed alla sua propagazione. Il perossido di manganese, come gli altri perossidi, opera da elemento negativo.

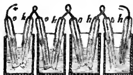
Zamboni ottenne con questa pila un moto oscillatorio durevole, che si credè *perpetuo*, ma se non l' è effettivamente, può durare per qualche anno, quando si conservi alla pila un convenevole grado di umidità negli elementi. Per averlo Zamboni adoperò due di queste pile verticali, poste in due tubi di vetro, ad una piccola distanza l' una dall' altra, facendole comunicare per la loro base, come nella pila a colonna di Volta, in modo che le loro sommità presentavano i poli opposti. Nel mezzo pose sopra un sostegno, pel suo centro di gravità, un ago metallico

isolato, ed assai mobile, in modo che potesse facilmente oscillare continuamente sopra i due poli della pila. Così attirato questo dal polo vitreo, era dopo respinto sul polo resinoso, e da questo sul pólo vitreo ec. perdendo ogni volta l'elettricità acquistata su la estremità del polo opposto, e caricandosi dopo con la elettricità dello stesso polo per esserne un altra volta respinto, e così di seguito. Queste pile sono rimarcabili per la durata della loro azione, ma non danno nè commozione, nè producono la scomposizione dell'acqua. Nondimeno Delazenne ebbe questi effetti, costruendone una con 300 fogli di carta stagnata (argentata) di 170 millimetri lunghi e larghi 150, adoperando questi elementi convenevolmente umidi.

Quando in queste pile si distrugge la tensione col contatto, vi vuol molto tempo perchè la riprendano; ed affinchè la conservino più a lungo, fa duopo difenderle quando è possibile dall'azione dell'aria, chiudendole in opportuni vasi di vetro, per conservarle la umidità necessaria, la quale è indispensabile alla produzione della elettricità.

Pile a gas di Grove.

532. Partendo sempre i fisici dal principio di Volta, cioè che tutt'i corpi eterogenei sono in grado di produrre elettricità per contatto, Grove si avvisò comporre una pila a gas, adoperando ossigeno ed idrogeno per elementi del nuovo suo apparecchio voltaico. La figura qui a lato dinota questa pila. Si compone essa di tubi di vetro in parte pieni uno d' idrogeno, un altro di ossigeno, i quali s' immergono in un bicchiere che contiene l'acqua acidulata con acido solforico. Ciascun bicchiere contiene due di questi nuovi elementi, cioè il tubo *o* che contiene ossigeno, e l'altro *h* l'idrogeno, e nella estremità in alto de'tubi vi è fissata esattamente una lamina di platino che ne occupa quasi tutta la loro lunghezza, essendo poi queste unite fuora per comunicar l' uno coll' altro tubo.



In un altra disposizione più semplice, Grove introdusse queste lamine di sotto de'tubi chiusi in alto, i quali uscendo dal liquido eccitatore, vanno ad unirsi per far comunicar l'uno coll'altro elemento. Così p. e. si fa comunicar la prima lamina di platino coll' idrogeno del primo bicchiere con la lamina che è nell' ossigeno del secondo, poi la lamina dell' idrogeno con quella dell' ossigeno del seguente ec., essendone le due lamine nell' estremità dell' apparecchio che appartengono a' due gas, quella dell' ossigeno il polo positivo, e l' altra dell'idrogeno il polo ne-

gativo. Quando i due poli son posti in comunicazione, si produce una corrente di una intensità abbastanza sensibile, e con una batteria di 5 sole coppie potè Grove ottenere, 1°. una commozione o scossa sensibile a 5 persone che si tenevano per la mano; 2°. l'azione su l'elettroscopio a foglie di oro; 3°. una scintilla brillante, visibile anche di giorno, tra due punte di carbone attaccate a'due poli della pila; 4°. la scomposizione del ioduro di potassio, dell'acido cloridrico, e dell'acqua acidulata con acido solforico. Nel mentre che la corrente passa per produrre questi effetti, il volume de' due gas si vede a poco a poco scemare ne' tubi, ed essi sono visibilmente assorbiti, ma l'idrogeno lo è più dell'ossigeno.

Grove ha potuto notare, che in queste ed altre sperienze, il volume dell'idrogeno che si dissipa è doppio di quello dell'ossigeno; e quando la pila opera solo per la scomposizione dell'acqua, i volumi de'gas raccolti nel voltometro, tanto per l'idrogeno che per l'ossigeno, sono esattamente eguali alla somma de' volumi de' gas che scemano ne' tubi ove son contenuti. Il perchè durante l'azione di quest' apparecchio, deve ricomporsi una quantità di acqua esattamente eguale a quella che esso scompone. L'azione poi è maggiore quando la estensione delle superficie delle lamine di platino si fa essa stessa più grande, ed al contrario. Non ostante i risultamenti così decisivi che si hanno con questo apparecchio, ne'Grove, ne'altri fisici han dato ancora ragione su la vera cagione degli effetti chimici ed elettrici che esso manifesta.

Teorica chimica della pila.

533. Da quanto si è permesso su le diverse pile voltaiche sembra non potersi sostenere una *elettricità di contatto assoluto*, come lo credeva Volta, e che Fabroni su le prime opponendovisi, ammise una decisa *azion chimica* come cagione della produzione dall'elettricità. Gli stessi fisici che sostengono la opinione del Volta, convengono, che la porzione di elettricità che svolgesi col solo contatto di due corpi è assai limitata, rimpetto a quella prodotta dalle azioni chimiche. Le stesse pile a secco, non operano quando gli elementi sono privi di umidità, e per le altre pile si è già detto, esser sempre la scomposizione dell'acqua che determina lo sviluppo dell'elettricità in questi apparecchi.

Tutte le volte che una coppia voltaica s'immerge in un liquido conduttore ed eccitatore, la elettricità positiva passa nel liquido, e la negativa nella coppia. Lo stesso succede nelle coppie successive ne' rispettivi liquidi in cui sono immerse, ed in ciascuna di esse, il fluido positivo attraversando il liquido, va a combinarsi al fluido negativo ch'è passato nell'elemento voltaico

precedente; e proseguendo allo stesso modo in ciascuna coppia, resta solo il fluido positivo libero del liquido in cui è immerso l'ultimo elemento zinco, e nell'elemento rame, che è nell' altra estremità, resta libera la elettricità negativa. Lo stesso dicasi per gli elementi di altre materie con cui si son composte le altre pile descritte; in modo che la quantità di elettricità nelle estremità di una pila a più elementi, è la stessa che quella di una sola coppia, ma poichè ciò è contrario al fatto, ha dovuto ammettersi, che al momento della separazione de' due fluidi, prodotta dall'azion chimica, ciascuno di essi deve ricevere una impulsione in senso contrario, la quale spingendoli a distanza più o meno sensibile, ne impedisce la combinazione. Questo cammino in senso contrario, costituisce lo stato della *corrente*, la quale, dovendo ubbidire all' impulsione ricevuta, deve l' elettricità attraversar tutto il sistema de' conduttori che li presenta la pila, cioè quello di tutte le coppie che essa contiene, accumulandosi così in maggior quantità, a misura che avanza, andando il fluido positivo verso la estremità zinco, ed il negativo verso la estremità rame, che ne costituiscono i due poli, cioè il positivo e negativo. Così una pila di 6 elementi dovrebbe avere accumulata una quantità di elettricità $\times$ 6 al polo zinco, ed una elettricità — 6 al polo rame. Se questa progressione fosse così semplice, la tensione di una pila crescerebbe in ragion diretta del numero degli elementi, ma nel fatto ciò non si avvera, perchè avviene una perdita di elettricità per opera de' conduttori pe' quali passa la elettricità; e poichè in ciascuna istante vi ha cambiamento di conduttore a conduttore, di liquido a metallo, e di metallo a liquido, deve ciò alterare la compiuta trasmissione della corrente elettrica prodotta da un elemento all' altro.

Le considerazioni esposte ci conducono a dedurne, che siffatta alterazione nella trasmissione della elettricità da una coppia all'altra, deve farsi meno sensibile nelle pile ad elementi a grandi dimensioni e poco numerosi; perchè in queste pile, dette di *quantità*, la elettricità arriva da un polo all'altro assai celeremente, ed in conseguenza con minor perdita per opera de'conduttori e del liquido in cui sono immersi gli elementi; il perchè osservasi, che esse danno più grande *quantità* di elettricità che quelle che hanno maggior numero di elementi, quantunque la somma delle loro superficie eguagliasse l' altra di minor numero. Queste pile convengono sopratutto nelle sperienze *elettro-magnetiche*, assai meglio che quelle a piccoli elementi.

Nelle pile a più elementi di piccole dimensioni, per una stessa superficie di quelle a grandi, ed in assai minore numero, si ha meno elettricità a' due poli; ma poichè quella che vi arriva ha già attraversato una serie numerosa di conduttori, si rende più facile ad attraversarne altri; il perchè queste pile, dette di

tensione, convengono più per le scomposizioni chimiche, le quali si operano sempre meglio sopra conduttori imperfetti, che attraverso buoni conduttori , e solo producono effetti calorifici , quando si adoperano fili metallici lunghi ed assai sottili, perchè in questo caso essi funzionano parimente da conduttori imperfetti. In ogni modo, la elettricità proseguendo a prodursi, deve la sua quantità aumentare a ciascun istante ne'poli , ma questo aumento ha un limite , che costituisce il suo *maximum* della *tensione* della pila; dappoichè la elettricità che è ne'suoi estremi, non essendo isolata, tende incessantemente ad entrar nella stessa pila in senso inverso , propagandovisi debolmente, perchè la pila è riguardata come conduttore imperfetto, a meno che la carica negli estremi non fosse assai energica ; ed ove questa più aumentasse , il *maximum* della tensione avverrebbe quando la perdita dell'elettricità pel retroceder della corrente, compenserebbe la quantità di elettricità che l'azion chimica tende incessantemente ad accumulare a'poli della pila.

Quando una pila è allo stato di tensione, la sua energia scema per l'opera del liquido sopra gli elementi, ed i prodotti che ne risultano , ora fan disparire una parte della sostanza conduttrice, ora fan nascere essi stessi nuovi composti, le cui proprietà conduttrici sono differenti. Così in una pila fatta con zinco e rame, alimentata da un liquido acido, una parte del rame metallico è trasportato su lo zinco opposto, il quale trovandosi tra due superficie rame , debbono risultarne correnti in senso inverso che si distruggono più o meno compiutamente. Si rende nondimeno l'azione più durevole, mettendo ciascun metallo in un vaso o cassetta separata , o che si procuri sciogliere il deposito a misura che si forma, ovvero adoperando liquidi che non sono in grado di produrne. Becquerel pervenne a migliori risultamenti frammezzando la soluzione di nitrato o solfato di rame nel truogolo ov' è il rame, ed una soluzione di solfato di zinco, o meglio sol comune, nel truogolo ov' è lo zinco. Le tante modificazioni esposte su le pile, ed in ispecialità la pila di Bunsen, hanno questo scopo importante, affinchè la durata de'loro effetti fosse più lunga e costante (V. *Elettro-magnetismo*, ed *elettro-chimica*).

Effetti fisici , fisiologici e chimici della pila.

534. Gli effetti *fisici*, *fisiologici* e *chimici* prodotti da una pila voltaica, sono determinati dal continuo passaggio dell'elettricità, o da *correnti elettriche* che si stabiliscono quando i due poli dell'apparecchio son posti in comunicazione con un corpo conduttore, o che sono assai prossimi , affinchè le elettricità contrarie sormontino l'intervallo che le separa per unirsi. Quando poi i

due poli si congiungono per mezzo di corpi conduttori, allora dicesi che il *circuito voltaico* è formato.

In una pila deve distinguersi la *forza fisica* e la *forza chimica*. La prima dipende dalla *quantità* di elettricità che la pila può dare in un istante, e questa è dipendente dalla superficie più che dal numero degli elementi, perchè è proporzionale alla estensione di questa superficie; la seconda dipende dalla *tensione* con la quale la elettricità corre da un polo all' altro, e questa è dipendente più dal numero che dalla superficie degli elementi; e perciò quando le altre condizioni restano costanti, la *tensione* di una pila è proporzionale al numero degli elementi. Il perchè le pile o piccol numero di grandi elementi si dicono *pile di quantità*, e quelle a piccoli elementi ed in maggior numero si dicono *pile di tensione*. Così volendo produrre le *azioni chimiche*, le pile che hanno gran numero di elementi hanno una grande *tensione*, vale a dire, che le correnti che esse producono possono vincere una grande resistenza; ma ove vogliansi *azioni fisiche*, dovendo le elettricità unirsi per mezzo di buoni conduttori, questi effetti dipenderanno dalla *quantità* di elettricità, cioè dalla estensione delle superficie degli elementi. Ed in ultimo, tanto negli effetti fisiologici che chimici, dovendo le elettricità contrarie unirsi per mezzo di conduttori imperfetti, debbono di conseguenza i risultamenti prodotti esser proporzionali alla tensione, cioè al numero degli elementi. Da ciò ne conseguita, che una pila può essere assai energica fisicamente, ed assai debole chimicamente, e reciprocamente.

535. *Effetti fisici della pila*—Da quanto si è premesso, gli effetti fisici di una pila dipendono più dalle dimensioni delle coppie che dal numero di esse, e questi possono restringersi al *calore*, alla *luce*, al *magnetismo*.

Calore e luce—Quando una corrente elettrica attraversa un conduttore, ne alza la temperatura. Il calore prodotto sembra provenir dalla resistenza che prova la elettricità nella sua trasmissione, dappoichè Children ha dimostrato, che i metalli meno conduttori si riscaldano più di que' che meglio conducono la elettricità. Tutt' i corpi semplici conduttori sono più o meno riscaldati, arroventati, o ridotti allo stato di gas, come lo sono per l'opera diretta del calorico, ed i corpi composti sono separati ne' loro elementi, perchè in quest' ultimo caso la elettricità opera come uno de' mezzi più energici che può produrre le scomposizioni de' corpi composti. Così Children operando con la sua grande pila di 21 coppie, che avevano una superficie di 32 piedi inglesi, ebbe fusi que' metalli che prima non si erano liquefatti ne' migliori fornelli alimentati da doppii mantici o da correnti forzate di aria. Un filo di platino lungo 5 piedi, e di $\frac{1}{10}$ di pollice di spessezza, attaccato a' due poli della pila, fu tutto

arroventato al rosso–bianco nella sua lunghezza. Una piccola spranga dello stesso metallo, che aveva 2 linee di lato, e 2 pollici di lunghezza, fu fusa poco dopo.

Mettendo i due poli della pila in contatto con la boccia di Leyden, uno con l'armatura esterna, l'altro coll'armatura interna, la boccia verrà caricata come con la elettricità ordinaria. Attaccando un carbone ben cotto, che termina a punta, alla estremità di un polo, avvicinandone la punta al filo conduttore dell'altro polo, si vedrà il carbone farsi poco dopo rovente. Se ai poli si attaccano due fili di ferro aguzzati nella estremità, avvicinandoli prossimamente al contatto, si avranno molte scintille, come quando il ferro si brucia nel gas ossigeno. Davy ebbe un fenomeno d'incandescenza, la cui luce pareggiava quella del sole, facendo arrivar nel vuoto la corrente prodotta da una pila assai energica. L'apparecchio consisteva in un globo di vetro, disposto in modo da potersi avvitare sul piatto della macchina pneumatica per farvi il vuoto, avendo due cilindri metallici che vi entravano a confricamento, per poterli avvicinare ed allontanare, e nelle estremità in dentro vi pose due cilindretti di carbone fortemente calcinato e spento nel mercurio, tagliati a punta come i lapis ordinarii. Fatto il vuoto nell'apparecchio, e posti i due conduttori per la estremità in fuora in comunicazione co' due poli della pila, avvicinando sino quasi al contatto le punte de' predetti carboni, ebbe una luce abbagliante in quel punto. Allontanando dopo uno de' carboni a poco a poco, ottenne un fascio luminoso scintillante, che riempì di luce tutto l'apparecchio (1).

La luce prodotta dall'azione della corrente voltaica, ottenuta con la pila di Bunsen, ha sorpassato anche quella che Davy produsse nel vuoto. Si è perciò detta *illuminazione galvanica*, o meglio *voltaica*, l'effetto ottenuto mettendo due pezzi conici, puntuti in fuora, di carbone a' poli della pila, chiudendo il circuito voltaico col mettere le loro estremità puntute in contatto: la luce abbagliante manifestasi subito dopo. Deleuil, adoperando una pila di Bunsen di 100 elementi, ne sperimentò l'effetto, situando l'apparecchio alla sommità di una casa prossima al Pont-Neuf; la intensità della luce fu tale, da potersi facilmente leggere le ore in un oriuolo dal terrapieno di Errico IV. Un altro saggio fu fatto nella piazza della Concordia con eguale successo, ma siccome tanto nel vuoto, che nell'aria, il carbone si dissipa e fa duopo avvicinarne continuatamente le punte per

(1) Questa sperienza fu ripetuta da Jacobi a Pietroburgo nel mentre che io operava colla luce prodotta dalla corrente infiammata di ossigeno ed idrogeno, diretta su la calce, §§ 143 e 144, onde farne il paragone, ma quella ottenuta da quest'ultima fu dallo stesso Jacobi, e Lenz, che vi era presente, trovata assai maggiore.

tenerle in contatto, questa sorte d'illuminazione non può applicarsi in grande, e con economia. Ma si è detto, che fatto da me in Pietroburgo, in casa di Iacobi il confronto con questa luce e quella ottenuta dalla calce, per mezzo di un getto di gas detonante infiammato, si trovò di gran lunga inferiore la prima alla seconda.

536. *Magnetismo*—Le correnti elettriche possono produrre le magnetizzazione del ferro, e degli altri corpi magnetici. Al § 426 si è esposto il mezzo di aver calamite temporanee con le correnti elettriche. Così ogni volta che un filo conduttore è attraversato da una corrente, esso acquista la proprietà di attirare il ferro, e la perde subito che la corrente cessa. Il ferro dolce è così calamitato per opera della corrente, ma come essa non ha forza coercitiva, poco dopo sottratto dalla sua influenza, perde le proprietà magnetiche che aveva sotto questa acquistate; e perchè la sua magnetizzazione è passaggiera, si è perciò detto *calamita temperanea*.

537. *Effetti fisiologici*—Si è già detto nella storia del galvanismo, ed al § 509, che non appena questo fu noto a'fisici francesi, Buonaparte, allora 1.° Console, mostrandosene passionato ammiratore, faceva fissar premii dall' Istituto nazionale, perchè si spingessero più oltre le scoperte di Galvani e del Volta; e nello stesso mentre l' Accademia di medicina di Parigi, prendeva il più grande interessamento alla scoperta del primo, per le applicazioni che poteva farsene alla fisiologia.

Tra gli effetti fisiologici della pila si novera primamente la *commozione*, la quale differisce da quella prodotta dalla boccia di Leyden, perchè questa è istantanea, e l' altra continua, pel passaggio non interrotto della elettricità attraverso gli organi dell'animale, quando si stabilisce una comunicazione con questi ed i poli della pila. Ma ove si tenga con la mano bagnata il filo conduttore di un polo della pila, e si tocchi l'altro contrario con l'altra mano anche bagnata, lasciandole subito dopo, si avvertirà una scossa come quella prodotta dalla scarica della boccia di Leyden. Può similmente formarsi una catena con più persone, che si tengono per le mani bagnate, come con la boccia di Leyden, per aversi anche la scossa, ma questa è avvertita solo da coloro che sono più prossimi a' poli, il che differisce nell' altro apparecchio elettrico, in cui si è detto che anche que'che ne sono più lontani la patiscono presso a poco come gli altri che sono più vicini. La energia della commozione aumenta col numero degli elementi dell' apparecchio voltaico, perchè essa dipende dalla tensione de' due fluidi a' poli, la quale come si è detto precedentemente, aumenta col numero delle coppie voltaiche.

Le scosse che si patiscono con la elettricità voltaica, dipendono dalla suscettività nervosa dell' individuo o dell' animale, e

dalla forza della pila. Queste scosse nelle piccole pile si annunziano con un pizzicore su le dite, in quelle più grandi con una sensazione più o meno dolorosa nelle braccia e nel cubito sino al petto, ed ove la pila fosse abbastanza grande potrebbero divenire funeste. La corrente elettrica che passa a traverso il corpo, non opera allo stesso modo in tutte le sue parti; quella che discende pe' nervi produce le scosse, e sembra aver poca opera su la sensibilità, mentre l'altra che sole pe'nervi, al punto di sua partenza ha un azione assai viva su la sensibilità. Così ricevendo la scarica della pila a traverso le due bracce, quello che comunica col polo positivo, in cui la corrente ascende pe' nervi, patisce una sensazione dolorosa, mentre che l'altro braccio che comunica col polo negativo patisce scosse senza dolori. Una corrente che passa pe'nervi dell'occhio, produce una sensazione luminosa; quella che attraversa il condotto uditivo, fa avvertire un susurro, e così tutti gli organi sensitivi possono mettersi in attività col mezzo delle correnti voltaiche.

Le reiterate sperienze fatte su gli organi degli animali appena morti, sopra quelli decapitati, o sospesi al laccio su le forche, han dato luogo ad osservar fenomeni assai importanti. Indipendentemente dalle contrazioni muscolari prodotte da Galvani, fu dopo osservato in Inghilterra, che toccando col filo attaccato ad un polo della pila un uomo morto da tre quarti d'ora, si vide questo far moti respiratorii, e nelle sue membra, da far credere poterlo richiamare a vita, se la eccessiva quantità di sangue perduta non si fosse opposta a questo felice risultamento. Da questo e da altri fatti, potè adoperarsi con successo la corrente voltaica a ristabilir la circolazione negl'individui caduti in asfissia per una cagione qualunque. Marianini e Lehot pervennero a fissar questa legge; cioè che quando la corrente positiva del circuito voltaico si propaga ne'nervi, o nella direzione delle loro ramificazioni, si produce una *contrazione* muscolare nel momento che la corrente comincia ad operare, ed una *sensazione* quando essa cessa; che se poi la corrente si propaga in senso inverso delle ramificazioni de'nervi, il contrario succede, perchè essa allora cagiona una sensazione fino che sussiste, ed una contrazione al momento che cessa.

Wilson Philips pervenne con le correnti elettriche a ristabilir la digestione sospesa in un coniglio per la sezione de' nervi che arrivano allo stomoco. Alcune nevrosi, paralisi, e reumatismi sono stati guariti per l'opera delle correnti voltaiche. I fisiologi han creduto trarne da questi fatti una spiegazione de' fenomeni vitali. Alcuni han creduto scorger nell' elettricità un fluido nervoso, altri esservi nel corpo umano un insieme simmetrico di piccole pile, nelle quali gli organi che segregano umori acidi occupano il polo positivo, e que'che segregano umori

alcalini il polo negativo. Le correnti prodotte ne' vegetali quando s' introducono nelle loro parti i differenti capi de' fili del galvanometro, han servito a sostener queste teoriche *elettro-vitali*, ma par che siamo ancor lontani a poterle fissare in modo da dare una sodisfacente ragione de' fenomeni della vita, i quali probabilmente resteranno per sempre avvolti in un mistero.

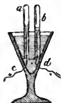
538. Una delle più felici applicazioni del galvanismo alla cura delle malattie, concepita la prima volta da Pravaz, fu recentemente messa in opera da Petrequin, ed è, la facoltà che hanno le *correnti continue* nel coagulare l'albumina del sangue, applicata alla determinazione del coagulo nelle aneurisme, per ottenerne la guarigione senza ricorrere ad operazioni cruente. Questa pratica, cominciata a Lione, fu ripetuta con più o minor successo a Milano ed a Napoli; e comunque non ancora siensi assicurati tutt' i punti che riguardano questa nuova maniera di curare le aneurisme, si è nondimeno sciolto il punto più essenziale, che cioè con questo mezzo possan esse di fatto guarirsi. La coagulazione del sangue è dovuta all'azion chimica della pila; imperocchè risulta dalle sperienze di Dutrochet, di Burdach, di Gmelin e di Lassaigne, che sotto l' influenza galvanica l'albumina del siero si raccoglie intorno al filo del polo zinco o positivo, in forma di globetti minutissimi che si aggiungono successivamente gli uni agli altri, e nello stesso tempo si vede il polo negativo senza alcun deposito albuminoso. Or sapendosi che la pila scompone i sali, e che l'acido dirigesi al polo positivo e la base al negativo; e d'altra parte essendo noto, che se la base è un alcali, essa scioglie l'albumina, e l'acido la coagula, deve facilmente dedursene, che l'albumina si coagula dove s'incontra nell'acido, e resta disciolta ove s'imbatte nell'alcali. Siffatta deduzione è ora definitivamente pruovata dalla sperienza di Lassaigne, il quale sottoponendo alla corrente la soluzione d' albumina pura, non l' ebbe coagulata, ma aggiuntovi il cloruro di sodio l' ottenne. Quando però la pila è assai potente, anche sul polo negativo si precipitano i globetti di albumina, come ha osservato Gmelin, il che è probabilmente dovuto al calorico che si sviluppa.

539. *Effetti chimici*–Le prime applicazioni della pila nella produzione delle azioni chimiche furono fatte da Carliste e da Nikolson nel 1800, e poi da Wollaston, i quali pervennero a scomporre l'acqua con una piccola pila a colonna. Cruikshanks facendo comunicare i poli della pila in una soluzione di piombo, ebbe il metallo ridotto al polo negativo, e l'ossigeno dell'ossido e l'acido del sale nel polo positivo. Ma l' applicazione, che poco dopo ne fece Davy sopra gli alcali e poi su le terre, creduti prima corpi semplici, e che trovò composti di ossigeno e potassio la potassa, ossigeno e sodio la soda ec., trasse seco altre scoperte anche di

maggiore importanza. Così Berzelius ed Hisinger ebbero collo stesso apparecchio scomposti gli acidi, i sali, gli ossidi metallici ec. e ne trassero la seguente legge generale, cioè, che l'ossigeno e gli acidi si portano sempre al polo positivo, e l'idrogeno, gli alcali, gli ossidi ed i metalli al polo negativo; e poichè nella teorica elettrica è detto, che i fluidi simili si ripellono, ed i contrarii si attraggono, ne segue, che i primi debbono posseder la elettricità negativa, ed i secondi la positiva, cioè la elettricità contraria del polo che li attira.

540. Questa legge ebbe subito dopo la più grande estensione, e permise dividere i corpi tutti tanto semplici che composti in *elettro-negativi*, ed *elettro-positivi*. I primi eran quelli che separati per mezzo della pila venivano attirati al polo contrario, cioè positivo, ed i secondi similmente lo erano al polo negativo. Sopra queste basi Davy estese maggiormente le applicazioni della pila nella scomposizione de'corpi, e considerando che i loro elementi persistevano nella combinazione, perchè in uno stato di opposta elettricità, ne dedusse, che ogni volta che si portavano in uno stato simile, rendendo gli uni positivi, e gli altri negativi, dovevano essi separarsi per effetto della ripulsione de' due fluidi simili. Al § 333 si è esposta la *teorica chimica della pila*.

La *scomposizione dell'acqua* può operarsi col semplice apparecchio che qui vedi, il quale consiste in un bicchiere con piede, in cui sono immerse le due piccole campane *a b* piene di acqua, che hanno nell'interno i due fili di platino *c d* per condurvi la elettricità. Attaccando le estremità di questi fili a' poli di una pila a piccoli elementi (15 a 20) si avrà l'acqua scomposta, e nella campana che comunica col polo positivo si troverà l'ossigeno, perchè elettro-negativo, ed in quella che comunica col polo negativo l'idrogeno, perchè elettro-positivo, il quale sarà doppio nel volume dell'ossigeno. Quest'apparecchio, venne dopo da Faraday, che lo disse *voltaimetro*, destinato a determinare gli equivalenti chimici, come esporremo nella *elettro-chimica*.



Ma la *scomposizione di un sale* offre maggiore opportunità per comprovar l'opera dell'azion chimica della pila, la quale può come nell'acqua, limitasi a separar l'acido dalla base, e dopo separati questi, scomporli per ridurli ne'loro elementi.

Questa operazione si fa mettendo, p. e. il sale solfato di potassa sciolto in acqua pura in un bicchiere, e vicino a questo un altro bicchiere con la sola acqua distillata, facendo comunicare i due liquidi per mezzo di fili di cotone o di canapa bagnati nella stessa acqua, ed i due poli della pila, il positivo nella soluzione salina, ed il negativo nell'acqua distillata. Si avrà dopo qualche tempo, che il sale verrà tutto scomposto, e nel bicchiere

che comunicava col polo positivo si troverà l'acido solforico, ed in quello che comunicava col polo negativo si troverà la potassa del solfato adoperato. Nella *elettro-chimica*, faremo meglio conoscere le azioni chimiche della pila.

TERMO-ELETTRICISMO, O FENOMENI TERMO-ELETTRICI.

541. Fra i tanti mezzi esposti co' quali si perviene a svolgere la elettricità da'corpi, vi è quello che deriva dalla temperatura, la quale ancorchè non valga a produrre, nel caso degli apparecchi voltaici, correnti di gran forza, può nondimeno darne di una uniformità tale, che riuscirebbe difficile averle con gli altri mezzi esposti. I fenomeni così prodotti, osservati la prima volta da Seebeck, che disse *termo-elettrici*, diedero origine al *termo-elettricismo* ed alle pile *termo-elettriche*, le quali aggiunte al *moltiplicatore*, che descriveremo appresso, cambiandolo in *termo-moltiplicatore*, fu sorgente delle importanti sperienze fatte da Melloni sul calorico raggiante. Le correnti elettriche ottenute per opera della ineguale temperatura sopra uno o due metalli diversi, che si son dette *correnti termo-elettriche*, scopersero una nuova serie di fenomeni di non poca importanza per la scienza elettrica.

Il fatto principale su cui poggia la scoperta di Seebeck di Jena, è il seguente: sopra una barra di antimonio ovvero di bismuto di 8 a 9 pollici di lunghezza, ed 8 a 9 linee di spessezza, vi si avvolge per 4 a 5 giri la estremità di un filo di ottone, piegandone il resto in modo che il tutto formi un rettangolo, o altra figura, ma tale, che tre parti almeno del circuito sien formate dal filo di ottone, e la quarta parte dalla barra o cilintro di antimonio ovvero di bismuto. Così disposto il circuito, riscaldando una delle estremità della barra nel lato ove non vi è il filo di ottone, si vedrà nel rettangolo o nel circuito intero svilupparsi una corrente, che metterà in moto l'ago magnetico postovi sotto, in modo da formar quasi un angolo retto con quello del metallo. Invece di filo di ottone, può saldarsi a' due estremi della barra di antimonio o di bismuto le due estremità di una lamina di ottone ovvero di rame, ed essendo anche così chiuso il circuito de' due metalli, quando le saldature che li unisce si riscaldano egualmente, non si avrà alcun fenomeno elettrico, cioè alcun' azione su l' ago calamitato; ma se riscaldasi, ovvero raffreddasi una delle saldature, all' istante una corrente termo-elettrica percorrerà tutto il circuito metallico, e l' ago si vedrà deviar dalla sua primitiva direzione: l' effetto dura sino che dura l' opera del calorico nell' apparecchio.

Dopo questi primi fatti potè Seebeck dedurne, che la con-

dizione indispensabile per la produzione de' fenomeni termo-elettrici, è l' ineguale riscaldamento delle parti del circuito metallico. Così quando s' introduce un filo di platino in un tubo di vetro chiuso in una estremità, e si mette in comunicazione col piatto inferiore del condensatore di Volta la estremità libera di questo filo, ravvolgendo nella parte chiusa del tubo un altro filo di platino, di cui la sua estremità libera comunica col suolo, riscaldando con una lampada ad alcool la estremità del filo avvolto sul tubo sino ad arroventarla, si avrà, che il filo interno trasmette subito dopo al condensatore una quantità sensibile di elettricità positiva. Or siccome il vetro ad un alta temperatura diviene conduttore dell'elettrico, deve seguirne, che esso non ha alcun opera su gli effetti prodotti, i quali debbonsi ripetere al calore ed alla ineguale sua distribuzione; perchè nello sperimento citato, la temperatura si fa più alta nel filo esteriore che in quello che è dentro il tubo, essendo questo separato dal vetro che è cattivo conduttore del calorico. In questo caso osservasi, che la estremità del filo in cui la temperatura è maggiore, trovasi la elettricità positiva, e nell' altra del filo interno in cui la temperatura è minore, vi si manifesta la elettricità negativa.

Nel rintracciar la cagione di cosiffatti fenomeni, par che debba questa ripetersi dalla conducibilità de' metalli per lo calorico; e se in que' che sono più termo-elettrici vi ha qualche interruzione prodotta da materie eterogenee, che può modificar questa conducibilità per lo calorico, debbono le due elettricità separarsi ne' punti ove sono queste materie. Il perchè i metalli facilmente ossidabili, non manifestano segni di elettricità se non quando la superficie riscaldata si ossida. Nondimeno osservasi, che l'azion chimica non ha parte allo sviluppo di questa elettricità, dappoichè Becquerel avendo privato il metallo dal contatto dell' aria, tenendolo immerso nell' olio, ebbe ancora sensibili correnti riscaldandolo solo inegualmente. Osservasi perciò che l' oro e l' argento, allo stato di purità perfetta, non danno correnti termo-elettriche, ma se sono impuri, cioè contengono come l' ordinario un poco di rame, il calore produce nella superficie un leggiero strato di ossido, il quale facendo ostacolo alla propagazione del calore, la corrente termo-elettrica ha luogo.

542. Nell'esaminare Seebeck le correnti termo-elettriche nel circuito di più metalli, adoperò un cilindro di bismuto, alle cui estremità aveva fatto saldare una lamina di rame piegata a ferro di cavallo. Riscaldando una delle saldature colla lampada ad alcool, ebbe subito dopo una corrente che andava dal bismuto al rame, il che potè comprovare mettendo in mezzo del circuito un ago magnetico che poteva muoversi come nella bussola

ordinaria. L'ago vedevasi tanto più deviato dalla sua posizione, quando più la differenza di temperatura tra le due saldature facevasi più grande. E se invece di riscaldare, si raffreddi col ghiaccio una delle due saldature, la corrente ha parimente luogo, ma in senso contrario. Ed in ultimo, riscaldando egualmente le due saldature, l'effetto su l'ago non ha più luogo, quantunque si producessero due correnti; ma siccome ciascuna va dal bismuto al rame, nell'incontrarsi, essendo di egual forza, perchè provengono da eguale temperatura, l'effetto che ciascuna avrebbe prodotto separatamente su l'ago magnetico, è neutralizzato nel loro incontro. Questo fatto, che prova l'influenza de' corpi eterogenei nell'alterar la conducibilità de' metalli, deve contribuire all'ineguale distribuzione del calorico nelle sue parti. E diffatti, ove si operi sul rame o sul bismuto, l'effetto non ha luogo, e perciò esso deve succedere nelle saldature, cioè nel punto d'interposizione di un altro metallo, il quale deve necessariamente alterar la conducibilità di que'che l'hanno congiunti. Il perchè a ragione Becquerel dice, non doversi ripetere la corrente termo-elettrica dal contatto de'metalli eterogenei, ma dal calore, vale a dire, dal vario grado di riscaldamento prodotto, e nello stesso mentre dalla ineguale loro conducibilità de' circuiti che questi stessi corpi formano.

Adoperando due altri metalli diversi, si hanno gli stessi fenomeni termo–elettrici, ma vi sono delle coppie metalliche che li manifestano in modo quasi insensibile. In questo caso per provare se siano in grado di dare una corrente, se ne aumenta la sua forza, adoperando il *moltiplicatore*, facendo saldare le estremità de' metalli che vogliono sperimentarsi a quelle de' due fili di questo strumento. Suppongliamo che questi ultimi siano di rame, e che voglia provarsi questo coll' argento, oro, ferro ec. In questo caso si prende una piccola lamina di uno di questi metalli, e si salda per le sue estremità a quelle de' fili del moltiplicatore, così chiuso il circuito, basta cambiar la temperatura in una delle saldature, perchè l'ago dello strumento dinoti, con la sua deviazione, la presenza della corrente, la cui grandezza sarà determinata dalla stessa deviazione dell' ago dello strumento.

Dopo questi fatti potè facilmente conoscersi la intensità della corrente termo–elettrica prodotta da metalli associati per coppie, nello stesso modo precedentemente descritto, costruendone cioè un circuito chiuso, ed osservando di quanti gradi vien deviato l'ago nel galvanometro da ciascuna coppia, tenendo una saldatura a + 100, ed un altra a zero. I metalli sono così ordinati secondo il loro potere termo–elettrico, cioè secondo la tendenza che hanno a prendere la elettricità positiva o negativa. Nel quadro presente ciascun metallo è elettro–positivo per rapporto a quel-

li che seguono, ed elettro-negativo con tutti quelli che lo precedono.

Antimonio	Ottone	Cobalto
Arsenico	Rodio	Palladio
Ferro	Piombo	Platino
Zinco	Stagno	Nickel
Oro	Argento	Mercurio
Rame	Manganese	Bismuto

Pouillet ha osservato dopo, che una corrente termo-elettrica scema nella intensità quando traversa conduttori metallici più in più lunghi, ed aumenta con le loro dimensioni traversali. La legge di questa variazione è, che l'energia della corrente è proporzionale alla sezione, ed in ragione inversa della lunghezza de' conduttori che la trasmette; dal che segue, che per siffatte correnti, il galvanometro non moltiplicherebbe in alcun modo l'azione esercitata su l'ago calamitato.

Bequerel, persuaso che uno stesso metallo non poteva col contatto costruirsi in due stati elettrici contrarii, facendone variar la temperatura in più punti, pervenne ad avere una corrente che faceva sensibilmente deviar l'ago del galvanometro, e perciò conchiuse, che potrebbe con un solo metallo farsi una pila termo-elettrica, riscaldandone solo differentemente varii punti. Questo effetto si ha più facilmente adoperando un filo metallico alquanto lungo, come di platino, di argento, ec. e facendovi due o tre nodi l'uno sopra l'altro con lo stesso filo, mettendone le estremità in comunicazione con i fili del galvanometro. Riscaldando il filo colla fiamma di una lampada, che si fa percorrere sino al nodo, si vedrà all'istante la deviazione dell'ago nel galvanometro, il che indica una corrente che è diretta dal filo riscaldato al nodo, e nel galvanometro dal nodo al punto più caldo del filo.

543. *Pile termo-elettriche*-Per produrre correnti termo-elettriche, si associano più coppie metalliche, presso a poco come nelle pile a colonna, ovvero nelle pile a truogoli, mettendovi un cartone secco tra una coppia e l'altra. Posson farsi anche con cilindri degli stessi metalli saldati insieme, disponendoli in forma di rettangolo. Or saldando insieme due cilindri di rame e due di bismuto, in modo che siano disposti alternativamente rame, bismuto, rame, bismuto, si avrà una pila termo-elettrica. I risultamenti saranno diversi, secondochè si riscalda l'una o l'altra delle saldature. Così riscaldando quelle che congiungono le due estremità del cilindro di rame, e raffreddando le due altre dello stesso metallo, ovvero riscaldando tutte insieme le quat-

tro che congiungono i cilindri rame e bismuto, non si avrà corrente, ma se riscaldasi le due saldature opposte, che sono cioè nell'estremità della diagonale del rettangolo, si avrà una corrente doppia. Queste pile si fanno anche con piccole lamine rettangolari, disposte allo stesso modo de' cilindri.

Fourier ed Œrsted costruirono i primi una pila termo-elettrica con verghe di antimonio e bismuto, disponendole in modo da potersi immergere nel ghiaccio tutte le saldature di numero, dispari, e riscaldar quelle di numero pari, e reciprocamente.

544. *Termo-moltiplicatore*—Il *termo-moltiplicatore* del Nobili, è in essenza una *pila termo-elettrica* fatta con verghe di bismuto ed antimonio saldate insieme, e disposte l'una assai vicina all' altra, tenendovele separate con una falda di carta. Queste coppie si fermano con mastice dentro un cilindro di ottone, chiuso da due coperchi mobili. Volendo usar questo strumento, si tien costante la temperatura di tutte le saldature che guardano verso un estremità del cilindro, e si riscaldano più o meno tutte le altre, tenendo unite le due estremità della pila a'fili del galvanometro.

545. *Termometro termo-elettrico.* Sopra gli stessi principii Nobili fece un *termometro termo-elettrico,* unendo insieme un gran numero di elementi di due metalli differenti, saldati alternativamente gli uni sugli altri, come nelle pile termo-elettriche, disponendo il circuito in modo, che tutte le saldature pari fossero da un lato, e le impari dall'altrò, e che tutta la serie di questi elementi formasser un cilindro. Ma affinchè le differenti coppie non si tocchino, vi si avvolge un filo o meglio una fettuccia di seta, lasciando libere solamente le saldature che sono su la base del cilindro, mettendole dipoi in un astucchio fatto con lamina di rame, che finisce da un lato con uno specchietto parabolico. Il circuito è interrotto, per chiuderlo co'capi de'fili del galvanometro. Facendo cader su lo specchietto i raggi calorifici che provengono da una sorgente assai debole, come si è detto nelle sperienze fatte da Melloni sul calorico raggiante, si avranno le deviazioni nel galvanometro, le quali son prodotte dalla corrente termo-elettrica che opera su l'ago calamitato dello strumento.

L' inviluppo, o astucchio che ricopre tutte le saldature di numero impari, ha per oggetto di preservare il resto del poligono dall' azione del calorico raggiante che può provenire dall' esterno.

ELETTRO-DINAMICA O ELETTRICITA' IN CORRENTE.

546. *L'elettricità dinamica*, e l'altra parte dell'elettrica scienza, che parla dell'elettricità in movimento, ossia quella che esamina particolarmente i fenomeni, o gli effetti elettrici che la

stessa elettricità produce, allorchè si pone o sta in movimento. Così ogni effetto fisico, chimico, o fisiologico prodotto dall'elettrico in moto, che in tale stato chiamasi *corrente*, vien considerato fenomeno *elettro-dinamico*. La scintilla che scorre da un punto, dal conduttore della macchina elettrica alla terra, dall'interno all'esterno della boccia di Leydon, o dalla punta d'un elettrofero, da un polo all'altro della pila, che velocemente si muove in forma di striscia luminosa a traverso l'aria o d'altro mezzo, e che presentasi tanto più vivace, quanto più copioso è il suo passaggio, è anche fenomeno fisico elettro-dinamico, o dell'elettrico in corrente. La scossa che risente un'animale, o l'analisi, a cui sottoponesi un corpo decomponibile dall'elettrico, allorchè questo lo traversa in corrente, sono due effetti pure elettro-dinamici, l'uno fisiologico, l'altro chimico. Ma volendo dare all'elettricità dinamica un significato assai più ristretto, questo nome si dà più sovente agli effetti d'attrazioni, e repulsione dell'elettrico in corrente per i conduttori, il quale non si muove trasfondendosi e comunicandosi lentamente da corpo a corpo, o da molecola a molecola, ma esso invece scorre velocissimo e libero per que'conduttori. Essa è continua come quella voltaica, e termo-elettrica, o pure è momentanea, come quella della scintilla, e delle induzioni magneto-elettriche e telluriche. I fenomeni dunque dell'elettro-dinamica propriamente detta, sono gli effetti della mutua azione attrattiva e repulsiva dell'elettricità in moto, o delle correnti elettriche.

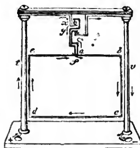
Così due correnti elettriche che muovonsi per lo stesso o contrario senso, si attraggono o si repellono. Due correnti che s'incrociano, sia che si trovino o no nello stesso piano con le loro parti, che stanno al di quà ed al di là del punto d'incrociamento, se i sensi di direzione di queste parti sono nel punto di allontanamento, o d'avvicinamento, si attraggono in ambedue i casi, ma se al di quà come al di là di tal punto l'una delle parti tende ad allontanarsene, mentre l'altra invece tende ad avvicinarsi al medesimo punto, si repelleranno. Stando questi fenomeni dimostrati, come fatti effettivi e costanti, sono leggi, dalle quali ne segue, 1.° che una corrente piegata ad angoli tenderà a raddrizzarsi in virtù della repulsione che vi ha tra le parti, o lati che formano detto angolo; 2° che se una corrente sia indefinita e fissa, e l'altra finita, mobile, e ad angolo con essa, si vedrà allora la mobile piegarsi parallela nello stesso senso, o contrario alla direzione della fissa, se tende ad allontanarsi, o avvicinarsi alla medesima. E però se la fissa è piegata in forma di cerchio, la mobile dovrà ruotare indefinitamente mercè l'azione della medesima, in contrario senso nel primo caso, e nel medesimo nel secondo; 3.° che se una corrente è indefinita, e l'altra mobile e chiusa in circuito rettangolare, il piano del circuito, conside-

rato diviso in due parti simmetriche ed eguali, normali a quello per lo quale passa l'indefinita, l'una discendente, e l'altra ascendente nei lati normali di esso circuito, tenderanno, per la direzione contraria del loro movimento, a portare il piano del circuito parallelo all'asse dell'indefinita, in modo, che il senso di direzione di moto dell'indefinita, coinciderà con quello della corrente della parte orizzontale ed inferiore del circuito rettangolare della finita.

Questi fenomeni e leggi d'attrazioni e ripulsioni manifestate reciprocamente e costantemente tra le correnti elettriche, è ciò che in senso stretto, fu propriamente detto *elettro-dinamica*, ma è parimenti elettrodinamica anche il magnetismo, l'elettromagnetismo, il magneto-elettricismo; e pe' suoi fatti principali oggi scoperti da Linari e Palmieri, anche il telluro-magneto elettricismo; e perciò l'analogia ed identità, che i fatti posteriori alla scoperta dell'elettro-dinamica rigorosamente detta, hanno mostrato esservi tra i fenomeni di questi principii, hanno maggiormente esteso il campo dell'elettro-dinamica; il perchè sono ancora da comprendervisi l'*elettro-chimica*, il *termo-elettricismo*, l'*idio-elettricismo* l'elettricità ordinaria ridotta in corrente; ed in fine, dopo quanto si è premesso su queste stesse parti della scienza elettrica, come più sopra dicemmo, ogni effetto fisico, chimico, o fisiologico in generale, fan parte ancora dell'elettro-dinamica.

Azioni delle correnti su le correnti.

547. *Azione delle correnti parallele.* Quando due correnti parallele sono in presenza, l'una esercita sempre su l'altra un azione più o meno viva, la quale dipende dalla distanza, dalla intensità e dalla loro lunghezza. Considerando quest' azione solo per rapporto alla direzione degli effetti, essa è sottomessa a questa semplice legge generale, cioè « che due correnti parallele si attirano quando camminano nello stesso senso, e si respingono se camminano in senso contrario ». Può ciò dimostrarsi coll' apparecchio qui a lato, in cui *a b c d f* rappresentano un filo, le cui estremità si adattano in due cassolette *x y*, che terminano le due colonne *t v*, stando in sito il rettangolo *a b c d e f*, la corrente che entra dalla colonna *t*, lo percorre nel senso della freccia per uscirne dalla colonna *v*; allora le correnti di *t*, e di *d e* camminano nello stesso senso salendo, quelle di *v* e di *b c* camminano nello stesso senso discendendo, e da ciò deriva una viva attrazione che riconduce senza interruzione il rettangolo nella posizione ove il lato *d e* è vicino *t*, ed il lato *b c* vicino *v*; il che prova, che le



correnti che camminano nello stesso senso si attirano. Sostituendo a questo rettangolo un altro simile, iu cui la corrente vada peró in senso contrario di quella che dava il primo rettangolo, si avrà in esso e nelle colonne, che le correnti camminando anche in senso contrario, si vedrà ripellere il secondo rettangolo, perchè, *le correnti che camminano in senso contrario si respingono.*

In queste sperienze, come fa notare Pouillet, fa duopo disporre l' apparecchio in modo, che il moto del rettangolo non possa provenir dall'opera dell'azione della terra. La intensità delle attrazioni e ripulsioni osservate, è proporzionale alla lunghezza de' lati verticali del rettangolo, ed al quadrato dell'intensità della corrente circolante nell' apparecchio; essa sarebbe ancora in ragione inversa della semplice distanza, se le coloune *t v* si considerassero di lunghezza infinita, per rapporto alla lunghezza delle correnti mobili su le quali operano.

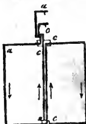
548. *Azione delle correnti sinuose.* Quest'azione, per una corrente sinuosa qualunque, è la stessa di quella di un conduttore rettilineo, terminato l'uno e l' altra agli stessi punti, e coincidendo nelle loro direzioni generali. Da ciò risulta, che l' azione di un filo sinuoso, essendo equivalente all' azione di una corrente lineare della stessa lunghezza e della medesima intensità, purchè queste azioni si esercitino ad una distanza grandissima, per rapporto all' ampiezza delle sinuosità, può sostituirsi, con un metodo analogo, alla composizione delle forze nella statica, una corrente curvilinea di una piccola estensione, o per la sua corda, ovvero per la sua projezione, facendo tra esse un angolo qualunque.

549. *Azione delle correnti incrocicchiate*—Si sono cosi chiamate le correnti che non sono parallele, sia quando si traversano nello stesso piano, e che le loro direzioni possano incontrarsi, sia che si trovino in piani differenti, e che le loro direzioni non possano incontrarsi; nel primo caso, il punto d'incrocicchiamento è uno de' punti della più corta distanza delle due correnti. Ampere dopo reiterate sperienze, pervenne a dimostrare, che due correnti incrocicchiate tendono sempre a divenir parallele per camminar nello stesso senzo, o in altri termini, che due correnti si attirono quando si avvicinano, o si allontanano dal punto d'incrocicchiamento, o dalla sommità dell'angolo; ed al contrario si respingono quando l' una si allontana e l' altra si avvicina da questo stesso punto.

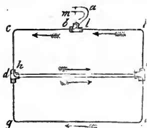
Ma osservasi ancora, che le parti d' una stessa corrente esercitano le une su le altre una ripulsione, dappoichè le due porzioni contigue d' una stessa correute rettilinea possono considerarsi come due correnti che formano un angolo di 180°; e siccome la corrente di una porzione si avvicina al punto d' in-

crocicchiamento, ed al contrario quella dell'altra se ne allontana, deve perciò esservi ripulsione. Questa conseguenza, che è importante per corroborar la teorica di Ampere, non sembra ancora dimostrata in modo da togliere ogni objezione, e perciò ci siam contentati farlo solo notare, senza entrare nella sposizione de' fatti che potrebbero comprovarlo.

550. *Azione della terra su le correnti*. Affinchè l'azione della terra si neutralizzi in un luogo qualunque, debbon disporsi i fili in modo d'avere, dall'una e dall'altra parte dell'asse di rotazione, delle parti simmetriche che la corrente traversa nello stesso senso. Il rettangolo mobile qui a lato non ha alcuna forza direttrice, come è facile veder seguendo la direzione della corrente segnata dalle frecce; che vi ha sempre dall'una e dall'altra parte dell'asse, delle forze eguali che si distruggono mutuamente, poichè esse tendono a produrre una rotazione nello stesso senso. Il rettangolo è mobile ne'punti in cui comunicano i poli della pila. Le lettere e le frecce ne dinotano la direzione.



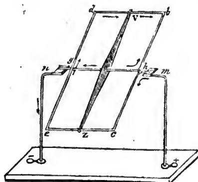
551. *Azione mutua di due correnti non parallele*. — Col mezzo del conduttore mobile qui a lato può vedersi, che due correnti, qualunque sia la loro direzione, tendono a mettersi nella posizione in cui esse sono parallele e dirette nel medesimo senso. Così facendo arrivare direttamente dal polo positivo a della pila, la corrente per tornare al polo negativo m, per mezzo di un filo metallico assai lungo, perchè possa condurne una porzione nella situazione che si vuole, la parte di questo conduttore mobile, rappresentato dalla figura, condurrà la corrente da f in g; or se facciasi passar sotto questa parte fg, in una direzione qualunque orizzontale al filo metallico pel quale la estremità m è in comunicazione col polo negativo, si vedrà il filo mobile fg voltarsi sino che si metta parallelo ad un filo fisso postoli sotto nella direzione est ovest del meridiano magnetico, e che abbia la sua corrrente diretta nello stesso senso di questo filo. Se nell'istante in cui si stabilisce il circuito elettrico, i due fili son paralleli, ma che hanno le loro correnti dirette in senso contrario, si vedrà che la corrente del filo mobile si volterà sino che le due correnti divengano parallele e nello stesso senso: in questo movimento ciascun punto del filo mobile avrà descritto una semi-circonferenza.



In questa sperienza è da notarsi, che il conduttore mobile *c d g f e i k*, in cui la corrente che viene dal polo positivo *a* percorre il cammino *b c d e f g h i k b*, per giungere al polo negativo *m*, come anche le frecce lo dinotano, non mai si ferma subito quando arriva nella posizione in cui è parallelo al filo conduttore fisso, sopra il quale dovrebbe arrestarsi, ma esso sorpassa subito questa situazione in virtù della velocità acquistata, per esservi ricondotto nuovamente, e solo ciò avviene dopo qualche ripetuta oscillazione.

552. *Azione d'una calamita sopra un conduttore mobile.* Lo stesso conduttore mobile or descritto, può servire a provar l' azione della calamita sopra di esso, e si vedrà, che situando la calamita in modo che il suo mezzo si trovi sopra del mezzo della parte *f g* del conduttore mobile descritto, si avrà, che la posizione ove questo conduttore si ferma, dopo avere oscillato intorno di essa, è tale, che la sua direzione fa un angolo retto con la linea de'poli della calamita. In questo caso è evidente, che deve adoperarsi un conduttore astatico, come è quello in discorso, affinchè il globo non vi abbia alcun' azione direttrice. Quando il conduttore sarà fermato, si vedrà sempre che la linea *f g* fa un angolo retto colla linea de'poli della calamita, e che il polo australe di quest'ultima è a sinistra della corrente, ed il boreale a destra.

553. *Azione del globo su le correnti elettriche* — L'azione del globo su i conduttori voltaici formanti un circuito chiuso, come vedesi nel rettangolo qui sotto, può fra gli altri effetti, produrre



anche l'*inclinazione* dell' ago calamitato. Quando nel rettangolo *d b e c* la corrente arriva da *m* per l'orecchione *h*, posto sopra una lamina metallica, percorre tutto il rettangolo per tornare, pel tubo che serve di asse al rettangolo, all'altro orecchione *g*,

che poggia sopra altra simile lamina metallica dell' altro m, e che è in comunicazione del polo positivo della pila. L'ago $z\ v$ di legno assai leggiero, fisso su l'asse, sostiene il rettangolo mobile, e serve per mantenerli la sua forma. Questo apparecchio si mette in movimento appena che si stabilisce il circuito, per osservarne la sua inclinazione, avendo prima situato il suo asse nella direzione orizzontale, e perpendicolare al meridiano magnetico, affinchè l'azione della terra trovisi tutta in grado di far volgere il piano del conduttore intorno il suo asse, e che le differenti parti di questo stesso conduttore, dall' uno e dall' altro lato dell' asse, si son poste in perfetto equilibrio, affinchè la gravità non v'abbia alcuna azione in tutte le posizioni in cui vuol portarsi. Con queste precauzioni osservasi, che qualunque sia la posizione che voglia darsi al conduttore mobile, esso si fermerà solo nella posizione in cui il suo piano è parallelo alla direzione conosciuta dell'ago d'inclinazione, e che dippiù, la corrente è diretta dall'est all'ovest nella parte $e\ c$, in cui supponghiamo che la corrente vada da c in e, che si trova quando il rettangolo si mette in equilibrio, e si ferma in mezzo il suo proprio asse. In tutte le altre posizioni, il rettangolo si mette in moto per avvicinarsi sempre a questa posizione, e fermarvisi in ultimo dopo qualche oscillazione.

Ricordando il modo esposto in cui operano le correnti parallele, si vedrà, che l'effetto descritto trovasi spiegato per la stessa supposizione delle correnti dirette dall' est all'ovest nel globo terrestre, perpendicolarmente al meridiano magnetico, ammettendo inoltre, che siffatte correnti, sono in generale situate verso il mezzo del luogo ove si fa l'esperienza, perchè queste debbono allora attirar verso di loro la parte $c\ e$, in cui la corrente e similmente dall' est all' ovest; respingere $d\ b$, in cui vi ha una direzione contraria, e per conseguenza inclinare il conduttore mobile, al modo esposto, come realmente avviene. Può in ultimo facilmente farsi un idea su questi due effetti dell'azione del globo su le correnti elettriche osservando, che il piano del conduttore mobile è diretto, ne'due casi, in modo da prendere la stessa posizione di un piano perpendicolare alla linea che congiunge i due poli dell'ago calamitato.

Selenoidi e cilindri elettro-dinamici.

554. Ampere ha chiamato *selenoidi*, che dopo si son detti anche *cilindri elettro-dinamici*, un sistema di piccole correnti circolari chiuse, eguali ed equidistanti, percorse tutte nel senso della corrente, che hanno tutt'i loro centri disposti sopra una curva o sopra una linea retta qualunque. Si ha un selenoide, avvolgendo in elica in più giri un filo di rame coperto di seta sopra un

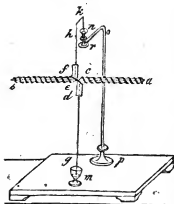
cilindro, ritirandolo dopo per l'asse stesso del cilindro, per aver cerchi paralleli tra essi, separati da piccolissime distanze, o da linee rette perpendicolari al loro asse, riconducendo l'estremità del filo in modo che abbia la stessa direzione dell' asse del selenoide. Quando una corrente passa pel filo del selenoide, considerando ogni spira come la risultante di una corrente circolare normale all'asse, e di una piccola corrente rettilinea, la cui lunghezza è equale al passo dell'elica, coll' aver fatto retrocedere il filo nella direzione dell'asse dell'elica, dovendo la corrente percorrerlo in direzione opposta delle piccole correnti rettilinee, se ne distrugge l'effetto. Che se poi la corrente percorra in senso contrario il filo di un selenoide, gli effetti si distruggono mutuamente, e restano solo quei delle correnti circolari. Il filo retto, ch'è nella direzione dell'asse del selenoide, neutralizza l' effetto prodotto in senso opposto ad esso filo dall'obliquità di ciascun giro dell'elica.

Un selenoide liberamente sospeso, quando è attraversato da una corrente elettrica, ciascuna delle correnti circolari tende a situarsi perpendicolarmente al meridiano magnetico, ed il suo asse si comporta come farebbe un ago magnetizzato liberamente sospeso. Il lato che trovasi verso il nord, è quello pel quale il lato ascendente della corrente si trova a destra dell' osservatore che guarda in faccia uno degli anelli circolari, e la corrente che gira verso il sud, è quello per la quale il lato ascendente della corrente è a sinistra dell' osservatore; ed in ultimo le estremità opposte del selenoide liberamente sospeso, sono attirate e respinte da una calamita allo stesso modo di un ago calamitato.

La proprietà de' selenoidi han condotto ad una teorica del magnetismo diversa da quella esposta. In questa teorica si suppone che ciascuna molecola di una magnete è circondata da correnti elettriche che si muovono in tutt'i sensi attorno ad essa, ed una calamita può considerarsi un fascio di fili resultanti da queste molecole, disposti parallelamente al suo asse. In una medesima sezione perpendicolare a quest'asse, tutt'i circuiti particolari possono rappresentarsi da un solo circuito circolare, e tutt'i fili perpendicolari a questa sezione, riguardarsi come circuiti che camminano nello stesso senso e paralleli tra essi, il che coincide precisamente col selenoide. Così se tagliasi in mezzo un selenoide, ciascuna delle estremità separate formerà un polo differente, che eserciteranno un' attrazione l' uno su l'altro; e considerando in fatti solo i due ultimi anelli, essi sono percorsi da correnti parallele che camminano nello stesso senso, per conseguenza debbono attirarsi; il selenoide dunque tagliato in due, darà due calamite, come farebbe la stessa calamita. Ed in ultimo, considerata la terra come una gran calamita, la corrente terrestre diretta dall' est all'ovest in ciascun luogo, trovasi in

un piano perpendicolare all'ago d'inclinazione, ed interviene in tutti i movimenti elettro-dinamici.

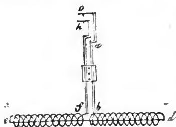
555. Un' apparecchio fatto dopo questi principii, in cui vi è ancora il congegnamento per tenere sospeso il doppio cilindro elettro–dinamico, vedesi nella figura accanto, in cui la doppia elica *a b* è portata per la estremità curvata *n k* del filo dell' elica, nella voschetta di legno *n* che contiene il mercurio, affinchè l'elica possa liberamente girare. La corrente arriva per la stessa vaschetta *n* che serve di sopporto all'elica, e di la seguendo la corrente pel filo *n k h f*, entra nel tubo *f e b*, da dove esce in *b* onde percorrere l' elica che avvolge il tubo *c a*, tutti due piegati nello stesso senso. Arrivata la corrente in *a*, il filo entra nel tubo *a c*, e n' esce per l' estremità *d* per immergersi nella cassoletta *m*, in cui comunica il filo negativo della pila, quando la vaschetta *n* comunica col polo positivo.



Nell'eliche *b e*, *c a* il movimento della corrente secondo l'asse essendo compensato dal movimento opposto della stessa corrente ne' fili interni *e b*, *a c*, non resta che l' effetto circolare trasversale delle correnti. Per un osservatore che fosse situato in queste correnti, e che guardasse fuori l'elica, l'estremità *a* sarebbe a destra, e perciò questa estremità offre tutt'i fenomeni conosciuti del polo australe delle calamite, come i poli di un ago ordinario, producendosi lo stesso effetto su i fili conduttori, e se quest' ago elettro-dinamico non è rimosso dall' azione del globo, deve attribuirsi al piccolo diametro delle spire delle due eliche, ed al difetto di una sospensione assai mobile; ma costruendole sopra dimensioni più grandi, si avrà indubitatamente l'effetto.

556. Nell' *influenza del globo su i selenoidi*, o cilindri elettro-dinamici, ne' quali ciascun filo dell' elica, secondo la legge delle projezioni, cioè come farebbe un circolo perpendicolare all' asse del cilindro attorno al quale l' elica e ravvolta, ed una piccola corrente parallela all'asse eguale al passo dell' elica; deve in conseguenza la curva intiera operar come una serie di circoli paralleli al numero di giri della stessa elica, ed una corrente rettilinea che fosse nell' asse. Il perchè facendo ritornare il filo nell'asse, in senso contrario, dovrà la sua azione distrugger

quella di tutte le correnti eguali al passo dell'elica, restando un apparato composto di circoli paralleli, che son percorsi nello stesso senso. Nella figura scorgesi un cilindro elettro-dinamico mobile, in cui il filo di rame coverto di seta partendo da *o* si comincia a ripiegare in elica da *b* sino *d*, donde poi si ritorce dirigendosi per l'asse del cilindro sino in *e*, tornando da ivi nuovamente ad avvolgersi a spira nella stessa direzione della prima, e da *f* va a terminare in *h*. Le due estremità, o punte *o h*, servono per sospenderlo ne'vasetti di legno pieni di mercurio. Così stabilite le due comunicazioni tra le due cavità dell'apparecchio elettromotore, e posta in circolazione la corrente, ciascuna spira tende a dirigersi in modo, che le correnti che scorrono per l'eliche siano ascendenti all'ovest, e discendenti all'est; il perchè osservasi, che la estremità *d* si rivolgerà verso il nord, e la estremità *e* verso il sud, allo stesso modo che farebbe un ago magnetico mobile sul suo perno.



557. *Gallegiante di de la Rive* — Tra i tanti apparecchi ideati per dimostrare l'influenza che esercita la terra sulle correnti voltaiche, oltre i selenoidi ed altri descritti, vi è quello immaginato da de la Rive, che porta il nome di *gallegiante*. Esso consiste in un disco di sughero *a* pel cui centro vi passa attraverso la lamina di rame *bb*, ripiegata come nell'elemento di Wollaston, e l'altra di zinco *c*. Alle loro estremità in fuori del sughero, son saldate quelle di un filo sottile di rame, ricoperto di seta, il quale fa diversi giri, formando il circolo A del diametro di due a tre pollici.



Questo piccolo apparecchio, che rappresenta un semplice elemento voltaico, allorchè si mette a galleggiare nell'acqua acidulata, dopo varie oscillazioni si vedrà restare in una posizione stabile, come fa l'ago di una bussola, e simile a questo, presenta il fenomeno di attrazione e ripulsione allorchè si presenta ad un lato del circolo una sbarra magnetica col polo contrario o simile.

ELETTRO-MAGNETISMO.

558. Da lungo tempo l'elettricità venne considerata come cagion prima de'fenomeni chimici, e dopo si cercò sempre spiegare ogni chimica azione come dipendente da forza elettrica che doveva in ogni circostanza avervi parte. Molti di questi fatti però furono considerati come ipotetici, poichè non si era raccolta l' elettricità che doveva svilupparsi nel momento delle combinazioni dei corpi, se non che in pochi casi solamente. Ma i nuovi mezzi che ci somministra l'elettro-magnetismo, che costituisce una nuova serie d' importantissimi fenomeni, detti da' fisici *elettro-dinamici*, ed i multiplici nuovi apparecchi inventati per dimostrarli, ci permettono ora di spiegare esattamente il gioco delle forze elettriche nelle chimiche reazioni, almeno di provare che realmente si sviluppino, e che per conseguenza debbano esse operar que' cambiamenti, tanto nella separazione che nella unione degli elementi.

I primi sperimenti fatti per rendere sensibili le azioni elettriche nelle combinazioni, sembrano dovuti ad Avogrado. Egli provò per mezzo del *moltiplicatore*, che in metalli immersi nell' acido nitrico, sviluppano l' elettricità che si rende sensibile a questo strumento, e che il senso della *corrente* che si stabilisce, dipende del grado di concentrazione dell'acido, e dalla durata dell' azion chimica.

L'influenza intanto dell' elettricità negli aghi calamitati, conosciuta da Wilke; l' azione della pila su gli stessi aghi magnetici ravvisata da Mojon e da Romagnesi, indussero nel 1819 OErsted, ad intraprendere una serie di sperimenti su l'influenza dell'azione delle correnti voltaiche su gli aghi magnetici, e questi vennero subito dopo ripetuti ed ampliati in Francia ed in altri luoghi, da Ampere, Arago, Seebeck, Davy, Prechtl, Schweigger, e da altri fisici distinti, i quali pervennero a confirmare ed estendere le scoperte del chimico Danese (1). Ecco in che consiste la scoperta fondamentale di OErsted.

559. Allorchè si riuniscono i due poli di una pila mediante un filo metallico, e che la circolazione dell'elettricità è bene stabilita, si ha un conduttore non interrotto, o ciò che si chiama una *corrente elettrica*. In questo caso l' elettricità positiva che si manifesta nella pila isolata, in una delle sue estremità ove trovasi

(1) I germi delle scoperte intorno all'azion chimica dell'elettricità, furono posti in Italia (V. Ann. di chimiea di Pavia, t. XVIII, e XX, 1800, et, XXII 1805), e le rieerche di Mauri, Pacchiani, Bellani, e Brugnatelli. P. spinsero Davy alla scoperta de' metalli degli alcali e quelli delle terre, come le prime sperienze di Avolgrado, Mojon, e Romagnesi indussero OErsted a progredire nelle scoperte dell' *elettro-magnetismo.*

lo zinco, ritorna pel filo metallico conduttore all'altra estremità della pila ove è il rame, ed in tal modo le due elettricità si riuniscono e si neutralizzano. Lo stesso effetto si produce in senso contrario su l'elettricità negativa che percorre lo stesso cammino pel filo conduttore, per portarsi dall'estremità rame all'estremità zinco, e queste due correnti si stabiliscono ogni volta che si fanno comunicare le due estremità di una pila ; la corrente negativa dall'estremità rame all' estremità zinco, e la positiva da questa all'altra estremità. L' espressione di *corrente elettrica* allora indicherà il senso nel quale si muovono le due elettricità , e questa espressione sarà applicata alla elettricità positiva, supponendosi facilmente che l'elettricità negativa si muove sempre in senso contrario. Ogni volta che si stabiliscono in tal modo le due correnti, la pila non presenta più alcuna tensione da essere apprezzata coll' elettrometro , ma si manifestano altri fenomeni di maggior importanza , finora non avvertiti, che sono appunto quelli che formano la nuova dottrina dell'elettro-magnetismo, o fenomeni elettro-dinamici, che va dovuta ad Œrsted.

Supponendo dunque una pila così armata, quando si avvicina un ago magnetizzato in una parte qualunque del conduttore, si vedrà l' ago deviar dalla sua primitiva direzione : effetto che va dovuto alla corrente elettrica che passa pel filo conduttore , poichè se questa venisse interrotta , l' ago riprenderebbe subito la sua primitiva posizione.

Dopo ciò , l' ago magnetizzato può indicare non solo la presenza di una corrente elettrica in un conduttore voltaico, ma ancora la direzione e la sua energia, effetto che non ha potuto ottenersi altrimenti , non potendo l' elettrometro ordinario indicare che l'esistenza e l' intensità della tensione elettrica , solo quando i poli son separati , perchè se il circuito è chiuso , al dire del chimico Danese, questo strumento non viene in menoma parte rimosso.

560. Dopo che questi ed altri sperimenti di Œrsted furono conosciuti in Francia, Ampere il primo , analizzandoli col suo elevato ingegno, mostrò che essi riducevansi tutti a'due fatti generali seguenti.

Primo fatto — Azione direttrice. Allorchè una pila allo stato di tensione si metta orizzontalmente presso a poco nella direzione del meridiano magnetico , e si disponga nella stessa direzione una porzione del filo conduttore, se un ago calamitato vien posto sopra o sotto la detta corrente , in una porzione di questo conduttore, si vedrà l'ago muoversi, e deviare dalla sua direzione primitiva; il che prova che l'elettricità della corrente opera a distanza sui corpi magnetizzati, ciò che non ha luogo allo stato di riposo , o quando questi due fluidi si trovano combinati. Per conoscer poi la direzione delle forze produttrici della diviazione

dell'ago magnetico, s'immagini trovarsi nella direzione della corrente in modo, che questa vada da' piedi alla testa, e che si abbia la faccia rivolta verso l'ago, allora si vedrà che il polo australe sarà sempre portato a sinistra mercè l'azione della corrente elettrica. E poichè non vi ha dubbio che questa corrente esiste nel filo conduttore della pila, che forma un circuito chiuso, così per mezzo dello stesso ago magnetico può conoscersi che essa va dall'estremità negativa all'estremità positiva, ossia nel senso inverso di quello del conduttore.

Ampere per esprimere questi rapporti di posizione e di direzione, che in più circostanze si complicano assai considerevolmente, ha immaginato *personificar* la corrente, dandoli la *testa* e i *piedi*, la *dritta* e la *sinistra*. Così suppongasi in una porzione qualunque del filo flessibile che congiunge i poli, che OErsted ha chiamato *filo congiuntivo*, una piccola figura d'uomo coricata nel senzo della lunghezza del filo, avendo i piedi dal lato del polo positivo, la testa dal lato del polo negativo, così che, la corrente entri pe'piedi, e n'esca per la testa; e supponendo ancora che questa figura abbia sempre volta la faccia verso il mezzo dell' ago magnetico sul quale opera la corrente, l'effetto allora sarà tale, che l'ago si trova *disposto in croce*, avendo sempre il suo polo australe o sud verso la sinistra della piccola figura d'uomo, il che dicesi abitualmente da' fisici, *che l'ago si volta in croce col suo polo australe a sinistra.*

Siccome l'azione della corrente elettrica tende a mettere l'ago sempre in un senso perpendicolare alla sua propria direzione, ciò viene impedito dall'azione del globo, e l'ago si ferma in una posizione obliqua al filo conduttore. Ampere pervenne a distruggere l'azione dell' globo, fissando l'ago calamitato perpendicolarmente ad un asse al quale si dà la direzione dell'ago d'inclinazione, e così esso fa un angolo retto col filo conduttore.

561. *Secondo fatto — Azione ripulsiva* e *attrattiva.* Quando un filo conduttore ed una calamita, son disposti in modo che l'asse di quest'ultima fa un angolo retto con la direzione del filo, si vedrà che essi si attirano se il polo australe è alla sinistra della corrente che opera su di esso, cioè quando la posizione è quella che il filo conduttore e la calamita tendono a prendere in virtù della loro scambievole azione. Ampere provò, che per aver luogo quest'attrazione, è duopo che la retta che misura la più corta distanza fra il filo e l'asse della calamita, incontri quest'asse in mezzo i poli. Con ciò si spiega perchè l'azione attrattiva diviene nulla dirimpetto al polo, e si cambia in ripulsione quando la retta che misura là più corta distanza tra il filo conduttore e l'asse, incontra questo stesso asse al di là del polo; vi ha all'opposto ripulsione allorchè il polo australe è a dritta, vale a dire quando il polo conduttore e la calamita son mantenuti in una posizione

opposta a quella che essi tendono a darsi, facendo però in modo, che la linea che misura la più corta distanza cada in mezzo a'due poli, poichè se cadesse fuori di questi, vi sarebbe attrazione. L'azione fra il filo conduttore e la calamita è sempre reciproca in tutti i casi precedenti, il che può provarsi ogni volta che si avvicini una calamita ed un conduttore mobile.

562. Poco dopo la scoperta del chimico Danese, Arago presentò all'Accademia Reale delle scienze molti altri risultamenti importanti. Egli osservò che il filo conduttore di una pila, messo in contatto, quando era ravvicinato alla limatura di ferro, se ne caricava come fa una calamita, la quale n'era subito distaccata ogni volta che la comunicazione veniva interrotta. Siffatto fenomeno non poteva ripetersi ad una semplice azione della elettricità ordinaria, perchè lo sperimento non riusciva colla limatura di altro metallo non magnetico. Conobbe ancora Arago, che il filo conduttore comunicava al ferro dolce un magnetismo fugace, ed all'acciaro un magnetismo alquanto permanente, dal che ebbero poi origine le calamite temporanee, e che siffatta calamitazione era determinata in una direzione perpendicolare a quella della corrente elettrica; ed in ultimo, che due fili di acciaro paralleli, che formavano un angolo retto col filo conduttore, e posti ad equale distanza da una parte all'altra di detto filo, acquistavano uno stesso grado di magnetismo.

563. *Attrazione e ripulsione delle correnti elettriche.* Appena i fatti esposti furon conosciuti, Ampere si affrettò a mostrare, che quando due *correnti* elettriche, son dirette parallelamente nello stesso sensosi attirano, e si respingono quando queste direzioni sono opposte, qualunque si fosse l'angolo de'due fili acuto, ovvero ottuso; in modo che vi ha sempre attrazione allorchè le correnti de'due fili si allontanano, e ripulsione quando uno si avvicina, l'altro si allontana; che se i due fili conduttori paralleli formano un angolo infinitamente piccolo, la cui sommità si trova ad una grande distanza, se le due correnti sono nello stesso senso, vi sarà attrazione, allontanandoli o ovvicinandoli dalla sommità dell'angolo suddetto, e ripulsione quando esse camminano in senso contrario. In ogni modo, per dare a questo fatto un applicazione generale, fa duopo tener presente, che ove i due fili conduttori non fossero nello stesso piano, la sommità dell'angolo dovrà considerarsi come la linea che misura la più corta distanza de'due fili.

564. *Aziondella corrente su l'ago calamitato.* Per provare OErsted l'azione della corrente sopra l'ago, attaccò un filo metallico flessibile ed alquanto lungo, che disse *filo congiuntivo*, a' due poli della pila, e tenendone una parte verso un polo con una mano, e quella vicina il polo contrario coll'altra, in modo, che teso si trovasse parallelo con un ago calamitato mobile sopra una pun-

ta, portando quest'ultimo sotto o sopra, a destra o a sinistra del filo, lo vide subito deviar dalla primitiva direzione, cambiandosi il senso di siffatta deviazione secondo il lato del filo congiuntivo a cui lo accostava.

565. *Legge dell'intensità dell'azione d'una corrente su l'ago.* Biot e Savarat dopo varie sperienze fatte a fin di stabilire una legge fondamentale su l' intensità dell'azione di una corrente su l'ago, o come la forza emanata dal filo che congiunge i due poli di una pila in attività scemi a diverse distanze dal suo asse, preferirono adoperare un ago sospeso ad un filo di seta, disposto sotto una campana, per impedir le agitazioni prodotte dall'aria, presso cui eravi una calamita a fin di neutralizzar l'azione del magnetismo terrestre, e privar l' ago di ogni forza direttrice. Così disposto l'apparecchio, osservarono l'effetto della correnteche attraversava un grosso filo di rame di 2 a 3metri lungo, teso verticalmente, ora da alto in basso, ed ora da basso in alto, su le deviazioni dell' ago sospeso. Dopo varie sperienze, pervennero a dedurne, che le intensità delle forze che producono oscillazioni isocrone, erano come i quadrati de'numeri delle oscillazioni fatte nello stesso tempo. Osservate in siffatto modo le oscillazioni, fu facile paragonare le intensità delle forze. Ed in ultimo, da queste comparazioni fatte alle distanze di 15, e 120 millimetri, tenendo in conto le precauzioni necessarie per ovviare ogni variazione nella pila, pervennero alla seguente legge generale, cioè, *che le intensità della forza elettro-magnetica è in ragione inversa della semplice distanza.*

Dopo le disposizioni dell'apparecchio, essendo la corrente rettilinea e di lunghezza quasi indefinita, per rapporto a quella dell'ago, e soprattutto per rapporto alla sua distanza, solo sotto questa condizione la legge di Biot e Savart è vera, dappoichè Laplace aveva già dimostrato, dover questa legge seguir tutte le altre forze conosciute, ed essere in ragione inversa del quadrato della distanza, e proporzionale al seno dell' angolo formato dalla direzione della corrente e per la linea condotta al mezzo dell' ago magnetico. E di fatti, calcolando dopo questo principio la somma di tutte le azioni elementari esercitate sopra una parte dell' ago in una corrente rettilinea indefinita, si trova che la intensità di questa risultante totale, diminuisce, come nel fatto l' esperienza lo dinota, in ragione inversa dalla semplice distanza. Ma la legge precedente non si avvera se non quando si parte da una distanza che è almeno 5 a 6 volte più grande della lunghezza dell' ago, perchè a distanze minori, i fenomeni si presentano sotto un aspetto differente ed assai più complicati.

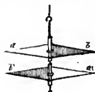
566. *Moltiplicatore* — Dopo la scoperta di OErsted, essendosi provato che una corrente circolare, o poligonale, o di una forma qualunque rientrante, opera per tutte le parti per diriggere

nello stesso senso un ago calamitato che l'inviluppa da ogni dove, il che deriva dal principio esposto al § 560, che la corrente cioè tende a voltar l'ago in croce con essa, avendo il polo australe a sinistra, Schweiger ebbe la felice idea d'inventare uno strumento che disse *moltiplicatore*, perchè esso difatti moltiplica la forza elettro-magnetica, ed è perciò di una sensibilità sorprendente, quando vogliònsi scoprire le più piccole tracce di elettricità in movimento, il che non poteva prima aversi col condensatore di Volta, il quale opera solo su le elettricità libere, o quando i poli della pila son separati. Questo strumento, che ora dicesi anche *galvanometro*, o *reometro*, fu in origine fatto come vedi nella fig. con un filo sottile di rame ricoperto di seta, avvolto in varie riprese in circolo *a b c d e*, fissato verticalmente sul piede M. Un piccol cannello di vetro *d c* è introdotto tra gli stessi fili nella parte superiore, fissatovi anche verticalmente; dal punto *h* parte un filo di seta non torto, che sostiene l'ago da bussola *n s*, e sotto l'ago vi è fissato orizzontalmente il circolo *n r l m*, diviso in 360°, che serve a misurare i gradi della deviazione dell'ago. Quest'apparecchio può collocarsi sotto una campana di vetro affinchè possa, difendersi dalle agitazioni dell'aria, lasciando fuora i due capi R Z del filo di rame, i quali poi si congiungono a que'degli apparecchi voltaici, a'selenoidi, ed a tutti gli altri ne' quali vuol dimostrarsi con questo strumento la corrente elettrica che nasce nelle azioni chimiche, fisiche, e fisiologiche. Ma a questo strumento viene ora sostituito il *galvanometro*, o il termo-moltiplicatore di Melloni, secondo il bisogno, come si è detto al § 162.

Secondo si è esposto sul modo di operar delle correnti elettriche, potrà agevolmente rilevarsi, che l'ago dello strumento dovrà volgersi dall'uno o dall'altro lato secondo la direzione che la corrente prende pe' fili, cioè declinerà verso l'ovest, se entrando da Z *g* esca da *f* R, e verso l'est se entrando da R *f*, n'esca per *g* Z, perchè sempre la corrente dovrà entrare per l'uno ed uscirne per l'altro. La sensibilità poi di questo strumento è tale, che attaccando a'due capi R Z due laminette o fili sottili di metalli eterogenei, ed immergendo questi nell'acqua pura o che tenga sciolto piccolissima dose di sale, si vedrà subito deviar l'ago di qualche grado.

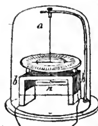
567. Questo strumento venne dopo modificato da Nobili, ed ebbe il nome di *galvanometro*. Partendo egli dall'opera del magne-

tismo terrestre su l'ago magnetico, aggiunse al moltiplicatore un altro ago simile postoli sotto in direzione opposta a' suoi poli, per neutralizzare il magnetismo terrestre, e l'ago lo disse *astatico*, come lo dimostra la figura a lato. Così



considerato *b* il polo nord, ed *a* il polo sud dell' ago superiore, l' ago di sotto è situato con *a'* che dinota il polo sud, e *b'* il polo nord. In siffatto modo trovandosi i due poli de' due aghi posti in senso contrario, l' influenza del magnetismo terrestre viene distrutta, e perciò il galvanometro si è anche detto a *compensazione*, e la disposizione de'due aghi si è detta *sistema astatico di Nobili*.

568. Il galvanometro così modificato, è dinotato dall' altra figura che qui vedi, in cui lo strumento è posto sottò una campana di vetro, ed il filo di rame *b b* è avvolto in circolo o in rettangolo di sotto. In *n* vedesi il secondo ago, e l'altro di sopra trovasi nel quadrante graduato come nel moltiplicatore di Schweiger. Il filo di seta *a* sostiene il primo ed il secondo ago, i quali si trovano così liberi nella loro mutua rotazione. La linea zero, e 180 corrispondono alla direzione che prende il filo sul quadrante, e gli aghi saranno conseguentemente paralleli al filo quando sono a zero, cioè nella loro posizione di equilibrio. La deviazione da zero a destra o a sinistra aumenta con la intensità della corrente, ma essa non può esser proporzionale a questa intensità se non per le deviazioni di 8° a 10°.



Nel moltiplicatore detto a *filo lungo*, il filo di rame ha la spessezza di meno $\frac{1}{6}$ di millimetro, ed è avvolto intorno al quadro per 800 giri. Nel moltiplicatore termo-elettrico, o a *filo corto*, il filo di rame anche coverto di seta ha $\frac{2}{3}$ di millimentro di diametro, vi è avvolto per 30 giri solamente. Gli aghi calamitati sono quelli ordinarii da cucire, ma lunghi da 36 a 46 millimetri e calamitati a saturazione.

In alcune sperienze si adopera il *galvanometro differenziale*, che consiste in un galvanometro composto con due fili perfettamente eguali tanto nella lunghezza che nel diametro e conducibilità, i quali si avvolgono simultaneamente nel quadro o rettangolo. Quando si fa passare per ciascun filo le correnti opposte, si avrà su l'ago la differenza della loro azione, ed inconseguenza l' ago resterà a zero ove le correnti fossero perfettamente eguali.

Il filo del galvanometro è di rame, coverto di seta, e quando

si avvolge sul quadro di legno, i giri si fanno molto serrati, lasciando liberi i due capi, o estremità per 1 a 2 metri di lunghezza per ciascuna di essi, i quali si dicono i due *fili del galvanometro*. La corrente entra per uno e n'esce per l'altro.

Teorica elettro-magnetica.

569. Fin dall'epoca della scoperta del chimico Danese OErsted, i fisici si occuparono a rintracciar la causa de'fenomeni elettromagnetici da questo osservati, ed immaginarono teoriche che parvero non sodisfare alla spiegazione di que'fenomeni. Lo stesso OErsted basò i seguenti principii, cioè « che quando le forze « elettriche opposte si combinano in circostanze tali da incon- « trar qualche resistenza, si sottomettono ad una nuova forma « di azione; in questo caso esse operano su l'ago magnetico in « modo, che l'elettricità positiva respinge la estremità sud ed « attira la estremità nord; la negativa poi respinge la estremità « nord ed attira la estremità sud dell'ago mobile (1) ».

Questi principii vennero anche adottati da qualche fisico italiano, e specialmente da Baccelli, il quale dopo varie sue sperienze, suppose l'esistenza di due correnti elettriche opposte, le quali partendo da' due poli della pila, si attortigliano insieme, perchè obbligate a scorrere per obliqua via intorno al filo congiuntivo. Ma Ampere esaminando i fenomeni in quistione, colla elevatezza del suo ingegno, cominciò dapprima a considerare i fenomeni magnetici come la stessa cosa che i fenomeni elettrici, dovendo ritenersi, esser la sola elettricità l'agente che smosso è determinato a ravvolgersi in *curve circolari* intorno di ciascuna particella di ogni magnete, ed in senso perpendicolare all'asse che congiunge i due poli delle medesime, rivestendole di proprietà magnetiche, come le correnti elettriche, che girano dall' est all' ovest intorno all' asse del mondo, al che va dovuta la causa produttrice de'fenomeni del magnetismo terrestre.

La teorica di Ampere, corroborata da' lavori importanti fatti da Biot, Savart, Pouillet, Boisgiraud, Savary ec., e sottoposta al calcolo piu rigoroso, ebbe la perferenza sopra tutte le altre. Partendo da' dati sperimentali, la teorica tutta di Ampere riposa sul seguente fatto, cioè « che quando due conduttori, o piuttosto due porzioni di uno stesso conduttore voltaico, l'una fissa, l'altra mobile, son poste a convenevole distanza ed in direzione presso che parallele, la porzione mobile è attirata o respinta dalla porzione fissa, secondo che la corrente elettrica è diretta nel medesimo senso, o in senso opposto di queste due

(1) Biblioteque Univ. Sept. 1821.

porzioni del conduttore voltaico (1)». Per verificar col fatto questo principio, Ampere ideò apparecchi opportuni che avessero reso mobile una porzione del filo metallico comunicante co'due poli di un apparato elettro-motore, senza che la sua continuità venisse interrotta, ed a questo scopo tendono tutti gli altri più o meno ingegnosi apparecchi ideati dall'autore, i quali dopo vennero in tante altre guise modificati. Quelli sinora descritti, si è creduto che bastano per dare ragione de'principali fenomeni elettro-magnetici.

FENOMENI D'INDUZIONE.

570. Preoccupato Faraday dall'idea che se l'elettricità in movimento può svolgere il magnetismo, doveva probabilmente una calamita produrre i principali fenomeni elettrici, si avvisò far nascere una corrente in un conduttore chiuso posto sotto l' influenza di una calamita. I risultamenti corrisposero non solo pienamente a quanto aveva preveduto, ma a scoprire un altra serie di nuovi ed assai importanti fenomeni, a'quali diede il nome di *fenomeni d' induzione*. La scoperta di Faraday fatta nel 1831, somministrò la pruova più decisiva dell' identità di origine dei fenomeni magnetici ed elettrici. Le nuove correnti così prodotte le disse *correnti d' induzione*, che dopo vennero anche dette *correnti istantanee* o *temporarie*, a cagione della momentanea loro durata. Queste correnti si sono anche da qualche fisico posteriormente suddivise in *correnti elettro-elettriche*, e *correnti magneto-elettriche*.

I fatti più fondamentali che costituiscono il principio generale dell' induzione possono così riassumersi: Quando un circuito conduttore chiuso *comincia* a ricevere in qualche uno de' suoi punti l'azione di una corrente qualunque, esso è traversato da una *corrente inversa;* quando esso *cessa* di ricevere quest'azione è traversato da *una corrente diretta*; ed in ultimo, *durante il tempo* che riceve quest' azione, in una *maniera costante*, esso non è traversato da alcuna corrente, e perciò non prova alcuna modificazione apparente sensibile.

571. *Corrente elettro-elettrica*— Consiste questa in un circuito chiuso sottoposto all'azione di una corrente, e si ha avvolgendo sopra un cilindro di legno due fili di rame coverti di seta, lungo ciascuno circa 30 metri, avendo un diametro di 5 millimetri, formando due eliche parallele assai prossime, delle quali una è destinata a lasciar passare la corrente di una pila voltaica, l' al-

(1) *Théorie des phénoménes electrodinamiques*, Paris 1832.

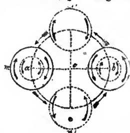
tra a ricevere l' azione *induttiva* di questa corrente. Mettendo le due estremità di uno de' fili in comunicazione con i due poli di una pila con molti elementi, e le estremità dell' altro co' fili del galvanometro, nell'istante che il circuito è chiuso, quest'ultimo filo sarà traversato da una corrente diretta in senso contrario del primo, che sembra avere breve durata, il che si conosce dal ritorno dell'ago al punto in cui era prima di chiudersi il circuito. Che se s'interrompa il circuito, l'ago è ancora deviato, ma il senso della deviazione dinota che la corrente che percorre il filo è nello stesso senso di quella che erasi stabilita in modo permanente nell' altro. Da siffatta sperienza Faraday conobbe, che la *corrente indotta*, suscitatasi nel momento che chiudevasi il circuito, è assai più energica di quella che si ha quando si apre lo stesso circuito. Che se poi al moltiplicatore si sostituisca un elica entro cui può mettersi un ago ordinario, le correnti momentanee che manifestansi nel filo che n' è sotto l' influenza, nel momento che la corrente voltaica nasce e cessa nel primo filo, produce la magnetizzazione dell' ago, come si è esposto coll'apparecchio presso a poco simile al § 427, sia prima del contatto co'poli della pila, ritirandolo avanti l'interruzione del contatto, sia dopo il contatto; la posizione de' poli prodotta nell'ago, è inversa nel secondo caso di quella che è nel primo. Ed in ultimo, ove non si ponesse l' ago nell' elica che dopo il contatto co' poli della pila, e che si ritirasse avanti dell' interruzione di questo contatto, in questo caso si vedrebbe l'ago restarsi indifferente, cioè nello stato di prima, o non calamitato.

572. *Corrente magneto elettrica*—Per dimostrare l'effetto di un circuito conduttore chiuso sottoposto all'azione di una calamita, o l' effetto delle correnti *magneto-elettriche*, Faraday coverì con più giri l' armatura di una grossa calamita in forma di ferro di cavallo, con un lungo filo di rame coverto di seta, avvolto dopo attorno al galvanometro, congiungendo i due estremi liberi, con una saldatura, per aversi così un conduttore chiuso. Nel momento in cui l'armatura tocca la calamita, ed all' istante in cui essa cessa, si avranno due deviazioni nell'ago del galvanometro, l' una in senso contrario dell' altra; la prima dinota nello strumento una corrente apposta a quella che produrrebbe nel ferro dell' armatura una polarità simile a quella che esso deve all' influenza della calamita. Lasciata l'armatura in riposo, l'ago torna su lo zero della deviazione, il che dinota, non essere in quello mentre il filo metallico percorso da alcuna corrente.

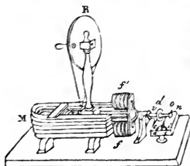
In un altra sperienza Faraday adoperò un filo lungo 200 metri, che avvolse attorno un cilindro di legno, la cui apertura interna permetteva introdurvi una calamita. Non appena le due estremità del filo furon poste in comunicazione col galvanome-

tro, la deviazione dell' ago nell' istante ebbe luogo con più o meno energia, ma poco dopo tornò in riposo e vi fu permanente sin tanto che la calamita restava dentro il cilindro, perchè non appena tolta, l'ago vedevasi nuovamente agitare, ma in senso opposto. La deviazione dunque dell' ago fa conoscere il senso della corrente d' induzione che traversa il circuito composto del galvanometro e del filo avvolto sul cilindro di legno, e riesce facile osservar che questa corrente è *inversa*, e cammina in senso contrario di quello della calamita, quando questa ritirasi dal cilindro. Da siffatte sperienze pare che il principio generale esposto è compiutamente comprovato.

573. A provar poi come, ancorchè le correnti d'induzione fossero per loro natura istantanee, possano rendersi in qualche modo continue, per meglio osservarne i fenomeni, supponghiamo, come vedesi nella figura, che *a b* rappresentino il polo boreale ed australe di una calamita ordinaria, e che sotto di questa calamita si trovi un elettro-magnete, che ha le estremità inferiori *m n*, come l' asse verticale *c*, intorno il quale puo girare, ed esaminiamo i fenomeni che si producono nella parte *m*, durante che essa descrive tutta una circonferenza, partendo dalla posizione *m'*, e passando successivamente in *m'*, *n'*, ed *n*; da *m'* ed *m*, il fluido boreale del ferro dolce di questa parte è attirato, ed il fluido australe respinto, il che produce nel filo una corrente inversa di quella del polo australe *a*; da *m n* i due fluidi tendono a ricomporsi, e la corrente diviene diretta; da *n'*, *n* il fluido australe è attirato, e la corrente di *b* è inversa, ed in conseguenza la stessa di *n'*; da *n* in *m'*, il fluido australe tende a ricomporsi, e la corrente è diretta con *b* ed inversa con *a*, dal che segue in ultimo, che in tutte le semicirconferenze comprese tra *m* ed *n*, passando per *n'*, la corrente del filo della parte *m* cammina in un senso, ed in tutte le semicirconferenze comprese tra *m* ed *n*, passando per *m'*, cammina in senso inverso. Quanto si è detto della parte *m*, si applica alla parte *n*, e le frecce segnate nella figura dinotano il senso della corrente. Per aver dunque una corrente continua, o presso a poco tale, basta imprimere all' elettro-magnete un moto rapido di rotazione, e raccoglier solo la corrente che si produce durante il passaggio da una delle sue parti ad una delle semicirconferenze comprese tra *m* ed *n*; ovvero raccogliere la corrente che si produce nelle due semicirconferenze, cambiandone però la direzione col mezzo di un bilico, perchè arrivi ne' corpi ove si vuole che operi.



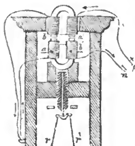
574. Sopra questi principii esposti, vennero dopo fatti l'apparecchio di Pixii, quello di Nobili, di Newman, di Clarke ec., delle quali descriviamo quella di Newman, che qui vedesi nella figura, essendo quella di Clarke, ora più generalmente usata, di più difficile concepimento con una o più figure che si dimandano per poterne rappresentare distintamente tutte le sue parti; *m* dinota sei grosse calamite artificiali congiunte con opportune armature, e poste



orizzontalmente sopra un piano di legno; *f f'* sono due moltiplicatori che ricevono la elettricità d'induzione con la loro rotazione per mezzo della ruota R, stando prossimamente ai due poli della calamita; l'asse *v* è in contatto con un filo metallico attaccato sul ponticello *a e*. In *c i* vi sono due conduttori che comunicano col sistema descritto, i quali servono a sperimentar gli effetti dell'apparecchio. Così attaccando a questi due reoferi, o fili metallici, tenendoli separtamente tra le mani bagnate con acqua e sale, nella rotazione de'due moltiplicatori si avrà una scossa assai forte e ripetuta, che può farsi subito cessare, o lasciando uno de'reoferi, o cessando il moto della ruota R. I moltiplicatori si fanno, uno con filo sottilissimo un altro con filo più grosso coverti con vernice. Per le sperienze in cui voglionsi effetti fisici, si adopera il moltiplicatore a filo grosso, che opera per la *quantità*, e per le azioni chimiche quello fatto col filo sottile, che opera per la *tensione*. Con questo apparecchio, e soprattutto quello di Clarke, possono aversi scosse, scintille, scomposizioni chimiche, come col mezzo delle pile ec. Nella macchina di Clarke, le calamite sono situate verticalmente, e i due moltiplicatori orizzontalmente presso le estremità dei due poli della calamita.

575. *Azione induttiva di una corrente sopra se stessa*—Henry di Filadelfia osservò, che quando s'interrompe una corrente voltaica che passa pe' due fili conduttori attaccati a'poli di una pila, che tenuti con le due mani bagnate e posti in contatto non danno alcuna scossa, separati questa facevasi sensibile, ed assai più forte che quando invece di fili dritti si adoperavano ad elica assai stretta, con giri l'uno separato dall'altro, covrendoli di seta o con vernice, e facevasi poi maggiore se nell'elica s'introduceva una spranghetta di ferro. Esaminando dopo Faraday più attentamente questo fenomeno, e variandolo in varie maniere,

pervenne a dimostrare, che nell'interruzione di un circuito voltaico, una corrente inversa percorre istantaneamente il conduttore interpolare, e produce effetti altrettanto più intensi quanto, più il conduttore è lungo, disposto in elica, e contornato, cioè in modo che le sue diverse parti possano agire le une su le altre. L' esistenza di questa corrente secondaria, posta fuori dubio dalle decisive sue sperienze, prova l'azione induttiva di una corrente sopra se stessa, la quale trasforma il ferro dolce in calamite di grande potenza, come quelle già descritte al § 426, le quali si sono perciò dette *elettro magneti*. Ma oltre quelle descritte in questo e nel § 427, e 428, un altra di massima potenza fu fatta costruire da Pouillet nel 1831, che poteva sopportare un peso di 1000 chilogrammi, quando la corrente proveniva da una forte pila di 24 coppie. La figura dimostra due calamite a ferro di cavallo opposte, fatte con cilindri di ferro dolce di 8 a 10 centimetri di diametro, e 6 ad 8 di lunghezza totale, le cui due bracce sono ciascuna inviluppate da circa 1000 metri di filo di rame di due terzi di millimetro di spessezza. La stessa corrente attraversa successivamente i 2000 metri di filo, ma le eliche son disposte in modo, che i poli di nome contrario sono in presenza fra loro. Non appena la comunicazione con la pila è stabilita, che l'elettro-magnete fissa $a'\ b$ alza l'elettro-magnete mobile $a\ b'$, e la sostiene con tanta forza che può resistere allo sforzo esercitato da un peso anche maggiore di 1000 chilogrammi, posto nel piatto $r\ r'$ che stà attaccato all' elettro-magnete inferiore. Che se in questo mentre s' interrompa la comunicazione, portando fuori del mercurio le estremità $n\ p$ del filo di 2000 metri, si vedrà brillare una scintilla assai larga, mentre che la stessa pila ne dà una appena visibile; e se con le mani appena umide si prendano queste due estremità per cacciarle fuori dal mercurio, si avrà una scossa assai forte. Pouillet, che provò per inavvertenza questa scossa, ed osservò quella scintilla sì viva, sembra essere stato il primo ad annunziarla nel *Bull. de la société Philomatique*, An. 1831, p. 117.



576. Le *correnti d'induzione*, prodotte dalla *rotazione di una calamita*, possono produrre tutti gli effetti che si hanno dalle correnti voltaiche ordinarie, vale a dire, effetti fisici, chimici e fisiologici, ma pare ancora difficile poter sostenere esser questi effetti essenzialmente legati fra loro con gli stessi rapporti; dappoichè le correnti d' induzione qualche volta presentano analogia con quelle delle macchine elettriche, e finora non si è potuto para-

gonar questi a' primi. Così le commozioni che si hanno con la macchina di Clarke, e con altri apparecchi d'induzione, sono di una intensità e durata crescente straordinaria, ove poi gli effetti chimici sono appena sensibili, il che differisce considerevolmente dagli stessi effetti ottenuti con le correnti voltaiche. Lo stesso dicasi per gli effetti magnetici, che sono istantanei ed intensissimi quando vengon prodotti da correnti d'induzione, ec.

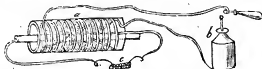
577. Le esperienze fatte da Henry, come pruova di magnetizzazione, servendosi di una *spirale magnetizzante* di 30 giri serrati, che introdusse nella corrente d'induzione, ed in cui situava un ago ordinario da cucire, e quelle presso a poco analoghe fatte da Abria, quantunque non avessero dato in risultamento rapporti d' intensità perfettamente rigorosi, nondimeno esse conducono ad approssimazioni ammisibili. Proseguendo Henry queste ricerche, pervenne, con esperienze più decisive fatte su le differenti intensità che sembrano aver le correnti d'induzione, quando si esaminino con la spirale magnetizzante, col galvanometro, ovvero col mezzo della commozione, a' seguenti fatti:

1°. Che la corrente *inversa* che nasce con lo stabilimento della corrente primitiva, e la corrente *diretta* che nasce dalla sua interruzione, possono sembrare eguali quando si paragonino ai mezzi di deviazione galvanometriche; laddove poi se si paragonino a' mezzi della commozione sono differenti, perchè quelle del secondo sono brusche e le altre del primo quasi impercettibili, e più ancora per mezzo della spirale magnetizzante, perchè il primo non calamita l'ago, ed il secondo lo calamita a saturazione.

2°. Che variando i conduttori della corrente primitiva, sia nella lunghezza che nella spessezza, ed aumentando convenevolmente il numero degli elementi della pila, può, la corrente indotta, rendersi diretta ed inversa, sensibilmente eguali fra esse sia che si paragonino col galvanometro, che con la commozione ovvero con la spirale magnetizzante.

3°. Che la *corrente diretta*, valutata col mezzo della commozione, aumenta in generale col numero degli elementi, senza che la *corrente inversa* pròvi simile aumento (*Transactions of the american philosophical Society*, 1835, *et suivantes*).

578. *Correnti d'induzione prodotte dall'elettricità ordinaria*. Nelle



ricerche fatte da Henry su le correnti d'induzione, pervenne a produrle anche con la elettricità ordinaria. Il suo apparecchio

si compone del cilindro di vetro *a* di 2 decimetri di diametro nel cui interno è avvolta in forma di spirale una striscia di stagno laminato di 8 a 10 metri di lunghezza. Le sue estremità escono dal cilindro per mezzo di tubi di vetro mantenuti nel suo asse, e comunicano colla spirale magnetizzante *c*. All'esterno del cilindro è avvolta una simile striscia di stagno, i cui giri corrispondono a quelli che sono nell'interno del cilindro *a*. Quando la scarica della boccia di Leyden *b* passa per la spirale esterna, l'ago che stà nella spirale magnetizzante *c* fa avvertire una corrente d'induzione nella spirale interna, e questa corrente indotta, è diretta nello stesso senso della corrente induttrice.

Da queste ed altre sperienze Henry fu condotto a proporre una teorica, la quale, come dice Pouillet, poggia sopra considerazioni che, se non sono tutte incontestabili, nondimeno debbonsi ritener come assai ingegnose.

Quest' apparecchio, sotto altra ragione, cioè su l'opera della elettricità ordinaria nel produrre la magnetizzazione lo abbiamo anche rapportato al § 527.

Correnti elettriche, indotte dal magnetismo terrestre.

579. Faraday nel 1831 annunziava nelle Transazioni filosofiche della Società Reale di Londra una nuova generazione di correnti elettriche istantanee, destate ne' circuiti chiusi di qualunque metallo, quando repentinamente accostavasi, o sen discostava una spranga calamita; il che fece crederli, che se un semplice cambiamento di posizione bastava onde ridestar la corrente nel circuito metallico sottoposto all'azione della calamita, doveva di conseguenza l'elettrico perdere il proprio equilibrio entro le sostanze metalliche in moto, per opera della ben nota virtù magnetica del globo terrestre.

A mettere in opera siffatto pensiere, Faraday avvolse intorno un cilindro di ferro dolce, lungo un piede e grosso $\frac{7}{8}$ di pollice, un elica di filo di rame, che risultava dall' unione di 12 spirali soprapposte, per modo che qualunque contatto metallico fosse rimosso dalla interposizione di finissimi tessuti, o di altre materie coibenti; posti dipoi i due estremi del filo in comunicazione di un galvanometro, tenendo il cilindro così preparato nella direzione dell'ago d'inclinazione, lo capovolse subitamente nel piano del meridiano magnetico; in siffatto rivolgimento una delle sue estremità dovendo occupare il posto dell'altra, doveva il cilindro trovarsi ancora parallelo all' ago d'inclinazione: in questo mentre l'indice del galvanometro percorse parecchi gradi nel quadrante, e ripigliò dipoi la posizione iniziale d'equilibrio. Capovolto dopo un altra volta quel cilindro, l'indice galvanometrico si mosse nel senso opposto, e tornò come prima su

lo zero del quadrante. Ed in ultimo, ripetuta due o tre volte questa operazione, in modo che le inversioni cospirassero colle oscillazioni, l'indice si vide oscillare entro un arco di 150 a 160 gradi.

Non sodisfatto Faraday di questo primo sperimento, perchè persuaso dover la forza magnetica operar non solo su le spire di rame, ma soprattutto sul cilindro di ferro dolce, il quale diveniva una *calamita di posizione*, ne dedusse, che la massima parte delle correnti indotte in quell'apparecchio dovessero procedere direttamente dal magnetismo terrestre. Egli quindi pensò eseguire uno sperimento *diretto*, rimovendo cioè il cilindro di ferro dolce, per sottoporre la sola elica di rame alle medesime alternative di movimento e di quiete, in quelle date posizioni dell' orizzonte. Il risultamento corrispose alla sua aspettazione; dappoichè la deviazione avvenuta nell' indice galvanometrico, quantunque fosse stata meno di prima, essa nondimeno presentossi con tal vigore, da far percorre all'ago archi di 80 e 90 gradi di ampiezza, quando si rendevano dieci o dodici volte cospiranti le inversioni del cilindro colle oscillazioni dell' ago magnetico.

Dopo questi fatti così decisivi, sapendosi l'efficacia del nostro pianeta nell' eccitar correnti elettriche d' induzione, la quale era posta fuori dubio mediante la deviazione dell' ago calamitato, restava solo a trovare il modo onde render queste correnti magneto–telluriche assai più energiche per ottener gli altri effetti che si appartengono alla elettricità dinamica, cioè le azioni chimiche, la scossa, la scintilla, l' arroventamento o combustione de'metalli ec. Ma Faraday a dir vero, perchè occupato ad altre ricerche su la scomposizione de'corpi mercè le correnti idroelettriche, non fece altri tentativi per aver questi effetti, i quali quantunque fossero pure conseguenze della sua teorica, volevano tuttavia esser confermati coll' esperienza. Nobili ed Antinori partendo dalla sola nuova teorica di Faraday su i fenomeni d'induzione delle calamite, rinvennero alquanto dopo le due sperienze del fisico inglese, relative al maguetismo terrestre, inventandole quasi una seconda volta; ma perchè tanto essi fecero dopo essersi pubblicate su lo stesso soggetto le due sperienze fondamentali di Faraday, fu perciò da'fisici ad esso data l'anteriorità della scoperta, e quant' altro fu dopo fatto su lo stesso soggetto, non fu, come disse Melloni in un rapporto diretto a quest' Accademia delle scienze, (1) che una *ripetizione* con apparecchi diversi di quanto erasi già fatto e scoperto dallo stesso Faraday.

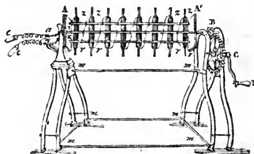
(1) V. *Cenni storici ed analitici sulle correnti del magnetismo terrestre* di M. Melloni, inseriti nel *Museo di Scienze e letteratura*, fascicolo 22, 30 Giugno 1845.

580. Le nozioni intanto relative alle correnti d'induzione terrestre rimanevano stazionarie, mentre la scienza delle correnti indotte dalle calamite progrediva rapidamente. Così, Clarke e Pixii trovavano il modo di rendere cospiranti le due opposte correnti di avvicinamento e di scostamento; riproducevano parimente con modi più facili e spediti la scintilla, già ottenuta da Faraday, da Nobili ed Antinori; osservavano l'arroventamento de' fili di platino, la combustione de' fili di ferro aguzzati nelle punte, la scossa, la scomposizione dell'acqua, vale a dire tutti gli effetti prodotti dalle pile voltaiche. Ancora Ohm, Fechner, Becquerel, Pouillet, Peltier, Matteucci e de la Rive, studiavano con successo le proprietà di ogni corrente elettrica, e definivano chiaramente, perchè le azioni fisiche, cioè la scintilla, l'arroventamento e la combustione de'metalli, richiedevano pochi ed ampii elementi negli elettromotori, idro-elettrici, e termo-elettrici; fili grossi e di poca lunghezza negli apparecchi d'induzione, e perchè nelle azioni chimiche si volevano pile composte di molte coppie negli apparecchi voltaici, ed in quelli di Seebeck, e de'fili lunghi e sottili nelle sperienze di Faraday.

Posteriormente i fisici non essendo riusciti, o non più occupati su i tentativi di conseguire scosse, effetti chimici ec., si contentarono ritenere il fenomeno della induzione terrestre dalla sola perturbazione cagionata nella naturale posizione dell' ago magnetico. Se non che dopo molti anni, alcuni indizii di azion chimica si ebbero da Antinori nell' aprile del 1838, poi da Iacobi, e più decisamente, anteriormente a questi, nel 1834 da Botto, il quale ottenne la scomposizione dell'acqua sul ferro, ed un deposito di polvere rossa di rame sul filo d' argento che era immerso nella soluzione di solfato di rame.

581. Profittando di quanto erasi operato antecedentemente da' fisici citati, dopo la prima scoperta di Faraday, Linari e Palmieri nel 1840 si occuparono su quanto restava a farsi per compiere le tentate ricerche sulle correnti indotte dal magnetismo terrestre, e dopo alcuni anni di assidue applicazioni, con cui effettuare il modo da loro immaginato di sommar l' intensità delle correnti magneto-elettro-telluriche, pervennero successivamente a comporre su lo stesso principio fondamentale della sperienza di Faraday, un apparecchio che dissero *batteria magneto-elettro-tellurica*, nel quale essendosi invece di un cilindro, come aveva fatto il fisico inglese, adoperate 8 canne di ferro dolce, poterono avere il doppio vantaggio, di conservare cioè, una maggiore quantità di filo di rame presso il corpo conduttore, ed aver nello stesso mentre una minor massa rotante, senza diminuire con ciò la energia della virtù magnetica, la quale come avevan dimostrato Nobili ed altri fisici, risiedeva tutta prossimamente alla superficie. Le correnti elettriche circolanti

nelle eliche avvolte intorno le canne di ferro dolce, erano raccolte con artifizii del tutto analoghi a quelli adoperati nelle macchine elettro-magnetiche di Clarke, di Newman ec.; e trasmesse poscia all'acqua acidulata, alle mani dell'osservatore, ec. secondo che si volevano provare effetti fisici, fisiologici e chimici, i quali tutti successivamente ottenuti con quell'apparecchio, non lasciarono più dubio nel comprovare una identità perfetta tra il magnetismo terrestre e quello delle calamite ordinarie. Gli altri effetti delle pile, che restava ad ottener col mezzo della nuova batteria magneto-elettro-tellurica, eran conseguenza di quelli già conseguiti à traverso una sottil lamina d'aria nell'interruzione del circuito.



582. La figura qui sopra dimostra la *batteria magneto-elettro-tellurica* ideata da Linari e Palmieri. Consiste essa in otto elementi, o canne di ferro dolce *z z* ec. con le loro spire di filo di rame, disposte parallele al piano magnetico, e congiunte pe'fili *rr*, *rr* ec., ed a tale distanza, che la corrente che passa per l'una non disturbi con la sua influenza quella dell'altra. L'asse del telajo *m m*, *m m*, *m m*, a cui son fissate le canne, trovasi normale al piano magnetico, e passa pel mezzo degli elementi, o delle canne. Un capo di esso vien posto in rotazione con tutto il resto dell' apparecchio, per mezzo del manubrio D, attaccato ad un sistema di ruote, posto nella medesima parte in B, e fissato in C. Gli aggiunti per operare la scossa, che veggonsi in *e e*, e gli altri per le azioni chimiche ec. sono gli stessi di quelli della macchina di Clarke. A A' dinotano gli estremi del telajo in cui son fissate le 8 canne descritte. Con siffatto apparecchio si ebbe la scossa, la scomposizione dell'acqua, la magnetizzazione, e la scintilla spiccata per frizione, luminosa e decisa sul mercurio. Quando poi i capi de'fili metallici sono uniti come nella figura, la corrente è di *tensione*, e diviene di quantità ove que'capi negli elementi fossero uniti in un solo, rispettivamente dall' una e

dall'altra parte, perchè essi allora costituiscono due capi che con la loro unione stabiliscono il circuito della corrente risultante dalla somma delle correnti parziali.

Ottenuta la scintilla, Linari e Palmieri annunziarono all'Accademia delle scienze, che volendo la scintilla dalle sole spirali di rame, riuscivagli facile, sapendo sino a qual punto farebbe duopo accrescer la tensione per ottenerla; e di fatti essi vedevanla apparire anche con due soli elementi; il che faceva supporre, potersi quella scintilla ottenere anche con le spirali di rame senza l'opera del ferro come fu in origine fatto da Faraday nello sperimento diretto (§ 579).

Proseguendo Palmieri siffatte ricerche, tolta al sostegno motore la batteria con gli 8 elementi o spirali dinamiche, e sostituitavi in suo luogo una semplice e grande spirale di rame di forma ovale, postala in rotazione con quello stesso congegnamento, ebbe più decisi effetti di magnetizzazione, di azion chimica, scomponendo l'acqua ed il ioduro di potassio; ed in ultimo ottenne parimente la scintilla, e l'ignizione del filo di platino.

Elettricità animale — Pesci elettrici.

583. Si è detta elettricità animale quella che manifestasi sotto l'influenza della vita fisiologica negli organi di alcuni animali, fra i quali certi pesci elettrici ne danno segni non equivoci, come la *raja torpedo*, la *torpedo nurck*, *galvani*, *nabiliana*, e la *occidentalis* delle coste del Massacussets in America; il *silurus electricus*; il *gymnotus electricus*, ed il *tetraodon electricus*. Fra questi pesci furono di preferenza meglio studiati la *torpedine* ed il *ginnoto*, soppratutto la prima, perchè più facile ad aversi. Gli effetti elettrici prodotti possono considerarsi *statici* e *dinamici*. I primi, che si riducono alla tensione, furono tentati da Walsh, ma vennero posti fuori dubio da Linari, il quale ebbe nelle fogliette di oro del condensatore, fenomeni di tensione positiva o negativa, secondo che il conduttore comunicava col dorso o con la pancia della torpedine, nell'atto che questa contraevasi. I secondi possono dividersi in *fisici*, *chimici*, e *fisiologici*.

Effetti fisici e *chimici*—Walsh fu il primo che osservò nel ginnoto la scintilla elettrica, la quale si ottenne anche a Londra nel 1839 da Faraday e Schoenbein dal ginnoto, tra due fogliette di oro, collocate a piccola distanza, che facevan parte del circuito. La scintilla fu sì forte, che l'oro venne in parte fuso. Ma Linari fin dal 1836 aveva ottenuto la scintilla dalla torpedine, adoperando un tubo ricurvo piegato a lettera U, in cui eravi il mercurio sino ad una certa altezza, facendo immergervi a poca distanza dalla superficie del metallo due fili di ferro fissati

sopra con sughero e cera di spagna, in modo, che uno dei fili stava immerso nel mercurio, l'altro distava dal medesimo di circa una mezza linea. L'apparecchio era posto sopra un sostegno di legno coverto da uno strato di resina, e i due capi di filo di ferro eran congiunti a' reofori muniti alle estremità di laminetta di platino che si portavano a contatto uno col dorso, l'altro col ventre dell'animale. Questa scintilla, che pochi mesi prima l'aveva conseguita colla corrente secondaria, l'ottenne dopo anche colla corrente primaria. Lo stesso Linari, col mezzo della bilancia elettro-magnetica osservò, che nelle scariche successive la intensità va sempre più decrescendo sino all'estinguersi della forza della vita, e servendosi dopo dello stesso strumento, trovò esser maggiore la scarica della torpedine di quella che si ha con una pila voltaica di 94 pollici quadrati di superficie armata. Matteucci, esaminando questo decrescimento delle scariche elettriche, pervenne a stabilire, che quando la torpedine è dotata di grande irritabilità al momento che si trae dal mare, la corrente elettrica che somministra, può eguagliare quella che si ha con una pila di un gran numero di coppie, caricata con un liquido attivo e buon conduttore.

Davy adoperando l'elettrometro di Harris, ebbe *effetti calorifici*, e correnti *ictio-elettriche*, che Linari confirmò dopo col termometro metallico di Brequet. Giovanni Davy ottenne dalle correnti elettriche della torpedine la scomposizione dell'acqua e quella di varie soluzioni saline, e Matteucci ebbe parimenti effetti chimici, scomponendo l'ioduro di potassio, come ancora l'ebbero Faraday e Scboenbein servendosi del ginnoto in vece della torpedine. Linari potè avere ancora dalla elettricità della torpedine il suono, la detonazione dell'idrogeno mescolato all'aria, e la produzione di tinte uniformi sopra metalli ossidabili, al modo di Nobili, servendosi dell'acetato di piombo; gli anelli colorati di Newton, le attrazioni e ripulsioni elettro-dinamiche ec. Ed in ultimo Giovanni Davy riuscì ad aver la magnetizzazione di un ago del peso di grammi 0, 27, il che venne poco dopo confirmato da Barlocci e Linari, che magnetizzò un grosso ago da bussola, e da Faraday a Londra, servendosi del Ginnoto.

Effetti fisiologici. Questi effetti si riducono alla *scossa*, o *commozione elettrica*, la quale è assai più intensa quando vien prodotta dal ginnoto. Matteucci afferma poter paragonar quella della torpedine ad una pila voltaica di 100 a 150 coppie, caricata con acqua salata. Le scosse si succedono con somma rapidità, ma scemano collo scemar la vitalità della torpedine.

ELETTRO–CHIMICA

584. Le prime applicazioni della elettricità nel produrre le azioni chimiche, si è detto che ebbero origine dalla scomposizione dell'acqua e di qualche soluzione metallica, ottenute da Nicholson, Carliste, Wollaston ec. Ma Davy fissò le vere basi della *elettro-chimica*, scomponendo gli alcali e le terre, creduti prima corpi semplici, e Berzelius estendendone dopo le applicazioni, considerò tutte le combinazioni e scomposizioni de' corpi come dipendenti da azioni elettriche, dal che ebbe origine il nuovo ordinamento de' corpi tanto semplici che composti dietro lo stato elettrico di loro, cioè in *elettro-positivi*, ed *elettro-negativi*.

La elettro–chimica non è scienza nuova, dappoichè essa fa da lungo tempo parte della chimica; ma dopo la scoperta dell' elettro–magnetismo, dell'elettricità d'induzione, del termo-elettricismo, e delle correnti elettriche in generale nel produrre gli effetti chimici, poggiando i nuovi apparecchi voltaici esclusivamente sopra le azioni chimiche, ed essendosi da Becquerel applicate siffatte azioni alla estrazione de' metalli preziosi, da de la Rive alla doratura, da Iacobi alla galvano-plastica ec., per dare ragione delle applicazioni che ne son derivate, si è creduto indispensabile introdurre anche ne'trattati di fisica la *elettro-chimica*, la quale, dietro siffatte considerazioni, sembrerebbe doversi meglio dire *elettro-fisico-chimica*, per non confonderla colla *elettro-chimica* propriamente detta, che ora forma la base delle teoriche chimiche su cui si è detto aver Berzelius ordinati i corpi tutti che strettamente alla chimica si appartengono. Questa parte della chimica ora aggiunta nelle opere di fisica, comprova maggiormente quanto dicemmo al § 21 del 1° volume di quest' opera, che le due scienze cioè, sono ora congiunte con legami si stretti, che l'una non può andar separata dall'altra.

Quando Davy ebbe scomposti gli alcali, e poi le terre col mezzo delle correnti elettriche, Gay-Lussac e Thénard si occuparono subito dopo dello stesso soggetto, e pervennero colle semplici azioni chimiche a scomporre similmente la potassa e la soda col mezzo del ferro, portato al massimo suo arroventamento; il perchè restando la stessa cagione, i metodi erano nondimeno assai differenti. Così l'acqua può scomporsi con le correnti voltaiche, e col far semplicemente passare il suo vapore sul ferro rovente, ovvero metterla in contatto colla limatura di questo metallo, o collo zinco ed acido solforico. Lo stesso dicasi della scomposizione de'sali che può operarsi tanto con le azioni chimiche che con le correnti elettriche, e di tutti gli altri composti di due o più elementi; e poichè questi effetti identici prodotti con mezzi differenti davano i medesimi risultamenti,

non fu difficile dedurne, dover essi di conseguenza dipendere da cagione identica, che è appunto la elettricità, la quale opera tutte le reazioni chimiche. Ma poichè ora i fisici comprendono nell'elettro-chimica tutti gli effetti chimici prodotti dagli apparecchi elettrici, e soprattutto da quelli che danno le correnti elettriche, per non confondere gli stessi effetti prodotti da azioni puramente chimiche, sembrerebbe regolare doversi distinguere la parte della scienza elettrica, che ricerca lo esame de'primi, col nome di *elettro-fisico-chimica*, e lasciare gli ultimi nella elettro-chimica propriamente detta, nella quale quegli stessi effetti son prodotti da'reattivi, da semplici o doppie affinità chimiche, cioè semplicemente dal contatto de'corpi, senza l'opera di apparecchi elettrici speciali.

La *elettro-chimica* dunque è quella parte della scienza elettrica che si occupa della determinazione dell'esistenza delle correnti nelle azioni chimiche, e che fa conoscere l'influenza dell'elettricità in moto o in corrente nel distruggere le chimiche combinazioni preesistenti, o formarne delle nuove.

Nomenclatura elettro-chimica.

585. Per lo esame de' fenomeni elettro-chimici, vennero da Ampere e da Faraday adottate alcune espressioni per dinotar certi mezzi co'quali si producono.

Reoferi. Conosciutosi che la pila aveva la proprietà discomporre un liquido col mezzo di due lamine di platino congiunte alle estremità de' suoi poli, si diede a queste lamine il nome di *poli*. Ampere trovando non esatta questa denominazione, vi sostituì quella di *reoferi*, cioè *porta-correnti* a queste lamine aggiunte agli estremi dell'apparecchio voltaico. Così, conosciutosi una origine elettrica che produceva le azioni chimiche per opera di correnti, i corpi che eran portati al reofero positivo si dissero *elettro-negativi*, e quelli che andavano al reofero negativo, si chiamarono *elettro-positivi*, espressioni che furon tratte dalla teorica elettrica, cioè che i fluidi simili si ripellono, ed i contrarii si attraggono.

Elettrodi ed elettroliti — Partendo Faraday dal principio, che la forza dominante che opera le azioni chimiche non è ne' poli dell' apparecchio voltaico che la promuove, ma ne'corpi scomposti, si avvisò considerare i poli, o i reoferi, come le *porte* per le quali esce la corrente elettrica che viene da' corpi sottoposti all' azione decomponente della pila; e perciò disse *elettrodi* quei reofori o poli, pe'quali usciva la corrente elettrica, ed *elettroliti* i corpi i cui elementi son separati dagli elettrodi. Così l' acido cloridrico sarebbe un corpo elettro-litico, perchè i due suoi elementi cloro ed idrogeno son separati facilmente con la pila, ma

l'acido borico non sarebbe elettro-litico, perchè non è così scomposto dalla pila.

Anodo e catodo.—Volendo Faraday una misura naturale della direzione elettrica, si avvisò cercarla nel globo terrestre. Sapendosi esser dovuto il magnetismo tellurico a correnti elettriche che circolano intorno alla terra, e che queste debbono costantemente diriggersi dall'est all'ovest, in certi casi di scomposizioni chimiche, il corpo scomposto è situato in modo, che la corrente che lo attraversa ha la stessa direzione, ed è parallela a quella che si suppone esistere nella terra; il perchè le superficie per le quali passa la elettricità, dovranno avere un rapporto invariabile, e mostrar sempre la medesima relazione della loro potenza. Faraday ha perciò chiamato l' *elettrodo* che è rivolto verso l' est *anodo*, (in alto) o strada per cui sorge il sole, e l' elettrodo che è rivolto verso l'ovest, *catodo* (in basso), che e la strada per cui il sole tramonta. L'*anodo* dunque dinota la superficie per la quale entra la corrente elettrica, che è quella in cui mostrasi l'ossigeno il cloro, e gli acidi, ed il *catodo* è la superficie in cui la corrente abbandona il corpo scomposto, ed ove si porta l'idrogeno, i metalli ec.

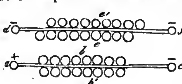
Risulta poi da numerose sperienze fatte dallo stesso Faraday, che le scomposizioni elettro–chimiche non dipendono dall'azione simultanea di due elettrodi, perchè esse succedono anche quando se ne adopera uno solamente; in questo caso uno degli elementi del composto è separato e passa direttamente per l'elettrodo, che è congiunto ad uno de' poli della pila, nel mentre che l' altro elemento si porta verso l'altra estremità del corpo sottoposto alla scomposizione elettro-chimica. Ed in ultimo gli elementi di un composto che sono uniti colle più forti affinità chimiche, domandano intensità di correnti elettriche anche assai energiche, e reciprocamente quelli che hanno deboli affinità fra loro, si separano con deboli azioni elettriche; il che ha fatto conchiudere, che ne'corpi composti, gli elementi si separano sotto l'opera di una corrente elettrica, con una facilità proporzionale alla forza di affinità che li tiene uniti.

Teoriche elettro–chimiche.

586. Più teoriche furono emesse a fin di dare ragione degli effetti elettro-chimici, cioè di spiegare la scomposizione de' corpi ed il trasporto de'suoi elementi sotto l'opera delle correnti. Alla lor volta queste teoriche furono accolte o rigettate, ed in ultimo ha dovuto convenirsi, non esser giunti ancora a fissarne una che fosse del tutto esente da objezioni. Ne sporremo quelle che ebbero più probabilità di successo, le quali quantunque più o meno ipotetiche, hanno nondimeno il vantaggio di potersi considerare

come ipotesi che sodisfano alla spiegazione degli effetti dell'elettricità nel produrre la scomposizione o l'unione degli elementi de'corpi, o degli stessi composti chimici, com'è il caso di un acido con una base ec.

587. La progressione degli elementi di un corpo verso i loro poli rispettivi, avviene continuamente, allorchè la tensione della pila non è indebolita o interrotta, e perciò le pile a *corrente costante* meglio convengono per le scomposizioni chimiche, e per quanto altro riguarda l' *elettro–chimica*, perchè molte volte bisognano più ore perchè si abbia una compiuta scomposizione. Ciò si comprende volentieri nella scomposizione dell' acqua p. e., in cui nella figura a lato *d e'* rappresenta il filo positivo di una pila, ed *e f*, il filo negativo; e supposto che l' acqua da scomporsi, ed in cui si trovino immersi i poli di una pila a poca distanza fra loro, costi di tanti globetti di ossigeno e d'idrogeno, e che quelli superiori, come si vede nella stessa figura, dinotino l'ossigeno, e gl'inferiori l'idrogeno, questi dovranno mantenersi disposti in uno stato di equilibrio in rapporto alle loro polarità elettriche, ovvero affinità chimiche; ma non appena comincia l'azione della pila, il filo positivo respinge l'idrogeno ed attira l' ossigeno, ed il filo negativo respinge l' ossigeno ed attira l' idrogeno. La serie dunque dei globetti d' idrogeno deve avanzarsi verso il filo negativo, e quella dell'ossigeno verso il filo positivo. La sola ispezione dell'altra figura che è sotto la prima, in cui i globetti d' ossigeno e quelli d' idrogeno, sono nello stato di combinazione, basta per comprendere, che ciascun globetto d'idrogeno o d'ossigeno, non può divenir libero, se non se quando si allontana da quelli che sono ancora combinati, e che si avvicina al polo rispettivo, come si vede nella serie superiore degli stessi globetti, in cui essendosene separato uno di ossigeno, si è parimente separato uno d' idrogeno nella direzione de'poli contrarii, cioè l'ossigeno, perchè elettro-negativo si dirige al polo positivo, e l'idrogeno che è elettro-positivo, al polo negativo. La stessa spiegazione ha luogo in tutte le altre scomposizioni operate per mezzo della pila, come p. e. in quella di un sale, supponendovi allora in luogo de'globetti di ossigeno, quelli dell' acido, ed in vece di globetti d'idrogeno, quelli dell'ossido ec. Ma non ostante queste supposizioni, i fenomeni chimici della pila, si credettero ancora avvolti in qualche difficoltà. Si pensò dopo darne ragione ammettendo, che siccome i corpi che son caricati con le stesse elettricità si respingono, e si attragono quando queste elettricità sono con–



trarie, doveva resultarne, che le molecole dei corpi composti che vengono in contatto co' poli della pila, si costituiscono in uno stato opposto di elettricità, divenendo le une elettro-negative, e le altre elettro-positive, e perciò le prime si portano al polo contrario, cioè positivo, e le seconde al polo negativo. Da questa supposizione risultarebbe, che l'effetto della pila dovrebb' esser tanto più grande, quanto più la forza ripulsiva alle estremità dei fili attaccati a' poli fosse più considerevole. Così la scomposizione dell' acqua pura, devrebb' essere più facile che quella dell' acqua resa acida, perchè più conduttrice, ciò che è poi contrario al fatto, sapendosi solo, che il passaggio della corrente elettrica attraverso le molecole di un composto, può facilitar la separazione de' suoi elementi.

Teorica di Grottus.

588. Esaminando Grottus l'azione della pila quando produce la scomposizione dei corpi, si avvisò considerare il fenomeno come dipendente dalla polarizzazione delle molecole degli elementi del composto, o degli stessi composti, come è il caso de'sali. Egli dice, che quando si mettono in contatto le due estremità de' fili di platino attaccati a' due poli di una pila, con un corpo che questa può scomporre, debbono i suoi atomi costituenti, posti fra il polo positivo ed il negativo, polarizzarsi, vale a dire, che il loro fluido naturale sarà scomposto e perciò gli uni diverranno positivi, andando al polo negativo, e gli altri negativi, si porteranno al polo positivo. In fatti, nello stesso esempio della scomposizione dell' acqua, supponendo che si trovino vicino alle estremità de' due poli 5 sole molecole di questo liquido, di cui ciascuna costi di 1 equivalente d' idrogeno, ed 1 di ossigeno, dovrà al polo negativo attirar tutti gli equivalenti d'idrogeno, e respinger tutti quelli dell' ossigeno; ed al contrario, il filo positivo attirando tutti gli equiv. d' ossigeno e respingendo tutti quelli d' idrogeno, dovranno questi portarsi successivamente all'estremità del filo negativo, mentre che i primi si porteranno all' estremità del filo positivo; ma in questo trasporto degli elementi dell'acqua da un polo all' altro, non potrà un equiv. negativo qualunque d' idrogeno divenir libero, se non quando si sarà esso combinato momentaneamente e successivamente con tutti gli equiv. positivi di ossigeno che incontra nel suo passaggio; e reciprocamente, un equiv. positivo qualunque di ossigeno dovrà combinarsi anche momentaneamente con tutti gli equiv. negativi d'idrogeno co'quali verrà in contatto nel suo passaggio. Così p. e il primo equiv. d'idrogeno della prima particella di acqua che si scompone, lasciando l'equiv. di ossigeno, si combinerà coll' equiv. di ossigeno della

seconda particella di acqua che abbandonerà per combinarsi a quello della terza particella ec., sino a che arrivi al polo negativo in cui poi, isolato dagli equiv. d'idrogeno, mostrerà possedere i caratteri fisico-chimici che li appartengono; ed al contrario nello stesso modo dovrà succedere pel primo equiv. di ossigeno che separasi dall'equiv. d'idrogeno nella prima particella di acqua che si scompone, fino a che giunga al polo positivo ec. Lo stesso avverrà se in vece di cinque particelle di acqua, ve ne fossero 100, 1000, ec. perchè in tutt' i casi le molecole di un principio costituente di un corpo, si polarizzeranno sempre in modo, che gli equiv. positivi diverranno negativi ed i negativi dell'altro costituente positivi, per essere separati ed attirati a' poli contrarii; cioè gli equiv. divenuti negativi al polo positivo, e gli equiv. positivi al polo negativo.

Teorica di Ampere.

589. Siccome questa spiegazione non era suscettiva di svolger tutt' i fenomeni elettro-chimici, così Ampere ne propose un'altra che può applicarsi in modo più generale. Egli suppose le molecole de' corpi come in uno stato permanente di elettricità, per le une positivo, e negativo per le altre, considerando gli alcali, e l' idrogeno nel primo caso, l' ossigeno e gli acidi nel secondo. Se queste particelle non manifestano alcun segno di elettricità, è, perchè quella che l' è propria, deve, dopo le leggi ordinarie delle azioni elettriche, scomporre il fluido neutro che riempie lo spazio intorno ad esse, respingere l'elettricità della stessa natura che la sua, attirar l'elettricità contraria, e formar con quest'ultima una piccola atmosfera elettrica intorno le sue particelle, ed in conseguenza quest'azione deve opporsi ad ogni ulteriore scomposizione del fluido neutro che le circonda.

In questa ipotesi, ciascuna particella potrebbe considerarsi come una esilissima bottiglia di Leyden, le cui pareti sarebbero assai minute, e supponendo che si mettano in contatto particelle di ossigeno è d' idrogeno, e che facciasi comunicare per uno de' mezzi esposti l'elettricità positiva libera che circonda le particelle di ossigeno, coll'elettricità negativa libera che circonda le particelle d'idrogeno, queste due elettricità, nel combinarsi, dovranno produrre il fluido neutro, e le elettricità proprie dell' idrogeno e dell' ossigeno che si son separate, si combineranno per formar l'acqua. Dopo ciò è evidente, che ciascuna particella di acqua si comporta come se non avesse alcuna elettricità allorchè le quantità di fluido delle particelle di ossigeno e d'idrogeno si trovano in un rapporto conveniente perchè si dissimulino com-

piutamente, e non vi sarà alcuna tendenza nella particella di acqua a scomporre il fluido neutro che la circonda.

Nelle circostanze in cui il corpo elettro-negativo è in eccesso, il composto sarà elettro-negativo, come è negli acidi, le cui particelle sono circondate da una atmosfera positiva; al contrario gli alcali racchiudendo un eccesso di particelle elettro-positive, saranno elettro-positivi, e le atmosfere delle loro particelle elettro-negative; dal che si deduce, dover gli alcali e gli acidi dare, colla loro unione, dei sali neutri elettro negativi o elettro-positivi. Con questa ipotesi si spiega perchè, nell'atto della combinazione di un acido e di un alcali, la corrente elettrica nel filo conduttore si manifesta dall'acido all'alcali, essendo ciò conseguenza delle elettricità libere delle particelle dell'acido e dell'alcali che si portano in questo filo per combinarsi.

Teorica su lo stato elettrico dei corpi, e delle relazioni delle polarità elettriche da cui dipende.

590. L'indagare come l'elettricità può considerarsi esistere nei corpi; come questi sono *elettro-positivi* ovvero *resino-polari* o *elettro-negativi* o *vitro-polari*, e come un corpo elettro-positivo può combinarsi ad un altro corpo elettro-positivo, ciò che sarebbe contrario a quando si è stabilito su la teorica elettrica, cioè che i fluidi simili si respingono ed i contrarii si attraggono, volendo Berzelius dare una ragione più plausibile di siffatti fenomeni, si avvisò farli dipendere dallo stato di polarità elettrica in cui trovansi le molecole dei corpi, ammettendo che non possa esservi elettricità libera, che in conseguenza di una simile polarità, come lo mostra la tormalina, che dà il migliore esempio di questa polarità elettrica.

Ma ammettendo anche che ciascun atomo di un corpo possegga una polarità elettrica, da cui dipendono i fenomeni *elettro-chimici* allorchè si uniscono, e che la ineguale intensità sia la cagione della differenza di forze con cui si esercitano le loro affinità, ciò non basta a spiegare i fenomeni di *elettricità specifica* che presenta ciascun atomo di un corpo, e che rende gli uni elettro-positivi e gli altri elettro-negativi. Si ha dovuto perciò ricorrere ad una specie di *elettricità-parziale*, ammessa la prima volta da Ermann, che chiamò *unipolare*, la quale consisterebbe nella proprietà che hanno alcuni corpi di portarsi solamente ad un polo, la cui esistenza è positivamente provata. In questo caso, ammettendo che nelle molecole di un corpo la elettricità dell'uno de' poli trovisi più concentrata in un punto che in un altro, e che vi esista una simile unipolarità specifica, mercè la quale presso gli uni domini il polo positivo, ed il polo negativo presso gli altri, allora è facil comprendere come l'elettricità può

trovarsi nei corpi, ed in che consistano le loro proprietà elettro-chimiche, mentre i corpi saranno elettro-positivi o elettro-negativi secondochè l'uno o l'altro polo vi predomina.

Così quando due corpi elettro-negativi, come l'ossigeno e lo zolfo, si combinano più intimamente che, p. e., l'ossigeno ed il rame, ancorchè quest'ultimo fosse elettro-positivo, deve ciò attribuirsi al che il grado di affinità dei corpi non dipende unicamente dalla loro polarità specifica, ma deve più tosto derivare dall'intensità della loro polarità generale; e que'corpi che sono suscettivi di una più intensa polarizzazione, debbono avere maggiore tendenza a neutralizzare l'elettricità che è divisa ne' loro poli, ovvero debbono avere una più grande affinità che gli altri corpi; ciò che prova dover l'affinità consistere nella intensità della polarizzazione degli elementi del corpo. Con ciò riesce facile spiegare perchè l'ossigeno si combina più tosto col solfo che col piombo; perchè sebbene i due primi avessero la stessa unipolarità, il polo positivo dello zolfo neutralizza una più grande quantità di elettricità negativa nel polo dominante dell'ossigeno, che il polo positivo del piombo non può neutralizzarne.

Il grado di temperatura influisce molto nell'accrescere il grado di polarità elettrica ne'corpi, poichè molti corpi che alla temperatura ordinaria non sembrano avere che una debole polarità, ne acquistano poi una molta forte ad un grado di calore più o meno elevato, ed altri al contrario la perdono quando questo grado di calore è troppo forte; come avviene nella combinazione dell'ossigeno col mercurio che accade ad una temperatura poco elevata, ed è distrutta o non avverrebbe ad un calore rosso ec. Ciò ha fatto dedurne, che le affinità di alcuni corpi non cominciano ad eseguirsi che a temperature molto elevate; e che la neutralizzazione elettro-chimica una volta avvenuta, non può distruggersi che per mezzo di forze elettriche che rendano alle parti la loro polarità primitiva.

Delle attrazioni elettriche in relazione con le affinità chimiche.

591. Davy e Berzelius, i due più celebri chimici che abbiano trattato questo argomento con la più grande penetrazione, han reso conto delle scomposizioni di que'corpi che prima avevano resistiti a' più potenti mezzi di analisi conosciuti, derivandole dagli effetti simili delle azioni elettriche con le affinità chimiche le più forti. In fatti, la maggiore parte de' fenomeni dipendenti dall'elettricità, potrebbero difficilmente spiegarsi senza ammettere che le affinità chimiche e tutte le varietà, guardate in una maniera generale, sieno l'effetto della polarità elettrica delle particelle de'corpi, e che la elettricità sia cagione di ogni azione chi-

mica; come le affinità elettive non sarebbero che l'effetto di una più forte polarità elettrica in certi corpi che negli altri. Quando p. e. la combinazione chimica di A B viene scomposta dal corpo C che ha una più grande affinità per A che per B, è duopo che C abbia una più grande intensità di polarizzazione elettrica che B, il che produce una più perfetta neutralizzazione fra A e C, che fra A e B, la quale può essere accompagnata anche da una temperatura tanto avanzata, da manifestare lo sviluppo di calorico e luce; B allora si manifesta di nuovo con la sua elettricità primitiva, la quale sparisce mercè la combinazione di A con C. Che se poi di questi tre corpi fosse A che avesse la più debole polarizzazione, B sarà egualmente discacciato da C, ancorchè non vi fosse innalzamento apparente di temperatura, unicamente per la grande tendenza di neutralizzazione di C che è più fortemente polarizzato; e finalmente nelle doppie scomposizioni, o affinità elettive, se due corpi A B, C D si scompongono reciprocamente in modo che si formino due nuovi composti A D, e C B, la polarizzazione elettrica sarà della stessa maniera meglio neutralizzata nelle ultime combinazioni che nelle prime.

592. Dopo questo modo di vedere le affinità, ecco come Davy stabilisce la sua ipotesi sulla identità delle affinità chimiche con le attrazioni elettriche. Egli dice, che la cagione primitiva che dà origine alla diversa tensione elettrica, produca anche le chimiche affinità; le quali allorchè hanno luogo fra i corpi in massa, si manifestano co'segni elettrici, divenendo i corpi positivi o negativi per attirarsi elettricamente; e quando operano sopra atomi o particelle dotate di libero movimento, si attraggono anche scambievolmente e si combinano chimicamente. Le molecole de'corpi allora che son dotate di affinità reciproca, possono divenire elettriche positive o negative, e la chimica azione sarà altrettanto più energica, quanto più prontamente queste potranno assumere in quel punto una elettricità contraria a quella della molecola con cui succede la chimica combinazione; ed al contrario, la scomposizione delle particelle già combinate, dipenderà dallo stato simile di elettricità che in esse si sviluppano. Ma nella combinazione di queste molecole, la neutralizzazione delle due elettricità non deve far considerare come estinta la elettricità manifestatasi in ciascuna molecola, che anzi ogni molecola eterogenea che trovavasi nel composto, possiede la sua elettricità primitiva, alla quale deve ripetersi la combinazione.

Dopo ciò supponghiamo che si faccia agire una corrente elettrica positiva sopra una chimica combinazione; allora le molecole che son dotate di energia elettrica negativa, verranno forzate anch'esse a prendere l'elettricità positiva, e saranno respinte, ovvero separate dalle altre molecole con cui erano unite, perchè anch'esse positive. Separate così queste molecole, ciascu-

na riprenderà il suo stato elettrico naturale, e verranno le positive attirate al polo negativo, e le negative al polo positivo; ciò che mena ad una conseguenza importante, cioè, che l'energia dell'azione dell'elettrico che passa da un polo ad un altro, supera quella dell'affinità con cui erano unite le molecole del composto, e che questa affinità consista appunto nel diverso stato elettrico delle molecole elementari del composto.

Questa ipotesi viene appoggiata da' seguenti fatti che coincidono coi fenomeni prodotti dalle semplici affinità chimiche.

1° Che la elettricità di cui s' investono i corpi nel loro contatto, è l'opposta di quella del polo a cui sono attirati nella scomposizione, essendo già provato, che le sostanze che danno meglio origine alla corrente elettrica, son quelle che hanno più affinità fra loro, allorchè sono libere e poste a contatto.

2° Che siccome l'affinità vien superata allorchè artificialmente si cambia la elettricità in uno degli elementi di un composto chimico, così questa può essere accresciuta rinforzando anche artificialmente questa elettricità. Così lo zinco che ha grande affinità per l'ossigeno, non si ossida quando viene elettrizzato negativamente; e l'argento che ha poca affinità per l'ossigeno si assida facilmente allorchè si elettrizza positivamente.

3° Che siccome nelle chimiche azioni evvi ordinariamente sviluppo di calorico e di luce, e talvolta di solo calorico, così lo stesso succede nelle azioni elettriche; quando queste sono più intime, la chimica combinazione ha più prontamente luogo, ed è sovente accompagnata da sviluppo di calorico e di luce. Così un carbone esposto nel vuoto, all'azione di due punte di platino da cui si scaricano opposte elettricità, diviene rovente come allor quando si brucia nel gas ossigeno.

4° E finalmente, che le poche obiezioni finora addotte in contrario alla suddetta indentità delle attrazioni elettriche con le affinità chimiche, non possono distruggere una moltiplicità di fatti finora si bene osservati, e soprattutto quelli che i corpi separati mercè l'azione di una pila, posseggono dopo le stesse proprietà elettro-chimiche che aveano prima della combinazione, e che queste scomposizioni danno risultamenti perfettamente simili a quelli che si ottengono co' reattivi chimici, ed in tutti gli altri processi ordinarii di affinità chimiche, senza far uso di apparecchi elettrici.

Da quanto si è esposto, e dietro un gran numero di sperimenti fatti con la pila da Berzelius ed Hisinger, relativamente alla sua azione sui corpi, ha potuto in generale stabilirsi.

1° Che l'ossigeno il cloro, il iodio, e gli acidi sono attirati dal polo positivo, e l'idrogeno, gli alcali ed i metalli le sono dal polo negativo.

2° Che tutte le combinazioni chimiche le più forti sono

scomposte per mezzo di una pila più o meno energica, dovendo esser considerata la forza elettrica come quella che può più di ogni altra forza conosciuta, separar compiutamente gli elementi de'corpi.

3° Che la scomposizione di un corpo può dipendere dal rapporto che vi ha fra le affinità reciproche dei principii di questo corpo, e le proprietà che essi hanno di costituirsi nello stato opposto di elettricismo più o meno grande, ciò che mena ad una semplice conseguenza, che cioè debbono esservi degli elementi i quali, quantunque uniti con la più grande affinità, potranno nondimeno essere scomposti dalla pila; ed al contrario, vi saranno combinazioni di elementi che con difficoltà si potranno separare, quantunque fossero uniti con le affinità le più deboli, il che deve ripetersi alla proprietà che essi hanno di divenire più o meno facilmente negativi ovvero positivi gli uni per rapporto agli altri.

4° Che quando due corpi possono combinarsi, posti convenevolmente nella corrente della pila voltaica, se la differenza tra lo stato elettrico di essi è molto grande, avendo molta affinità reciproca, si vedrebbe l'uno divenir sempre positivo e l'altro negativo. E poichè Davy, dietro una serie di combinazioni e chimiche scomposizioni confirmò, che i corpi si combinano allorchè sono differentemente elettrizzati o che posseggono le elettricità contrarie, e si scompongono quando queste elettricita sono omonime, cioè che sono le stesse, ne dedusse, che le affinità chimiche dovevano considerarsi come dipendenti dalla forza elettrica.

5° Che nelle scariche della pila attraverso i corpi è duopo che questi si trovino nello stato della più grande concentrazione, che abbiano cioè la minore quantità possibile di acqua, poichè in generale, la scomposizione di un'corpo è tanto più debole, quanto più questo trovasi diluito nell'acqua.

6° Che quando un corpo solido, come p. e. un metallo, è reso elettrico col contatto con un'altro metallo, se è circondato da un liquido che può esercitar con esso un azione chimica, in questo caso il corpo manifesterà affinità diverse di quelle che aveva prima della sua immersione. Un metallo p. e. elettrizzato negativamente, si comporta come un metallo in cui le affinità sono assai deboli, o anche distrutte, mentre che quello che lo è positivamente, mostrerà godere affinità molto più forti di quelle di cui esso era dotato nello stato naturale. Così quando un pezzo di zinco recentemente limato si fissa sopra una lamina di rame egualmente pulita, e che s'immergano in una soluzione di sal marino, lo zinco sarà ossidato così prontamente, come se avesse affinità molto superiori a quelle dello stesso zinco isolato; al contrario avverrà, pel rame, il quale non sarà punto

alterato, mentre che se questo si mettesse solo in contatto con la soluzione salina, verrebbe prontamente attaccato.

7° Che siccome l'azione del liquido accitatore è nella ragion diretta delle superficie, così è meglio isolar gli elementi di una pila in vece di saldarli insieme, perchè l' esperienza ha provato, che raddoppiando le lamine di rame su quelle di zinco, in modo che si tocchino nei soli estremi, come si è esposto per l'elemento di Wollaston, si raddoppia così anche l' energia chimica dell' apparecchio, dovendo allora le due facce della lamina di zinco operare egualmente, mentre che negli elementi in cui una superficie dello zinco è congiunta con quella del rame, e che non trovasi in contatto del liquido eccitatore, deve la sua azione esercitarsi da una parte solamente. Quest'azione però cresce sempre proporzionalmente all' estensione della superficie del metallo, in modo che, secondo ha osservato Morichini, può questa aumentar sino al sestuplo con accrescimento sempre considerevole di forza, ma passato questo limite, la forza aumenta con minore energia. Ove poi la superficie del rame immersa nel liquido fosse decupla, l'azione diverrebbe tripla, e per renderla quadrupla, farebbe duopo che la superficie del rame fosse trentadue volte più estesa.

Questi ed altri effetti ottenuti, che dipendono da' principii precedentemente stabiliti, indussero Davy farne una importantissima applicazione alla conservazione della fodera di rame che ricopre la parte dei vascelli che s'immerge nell' acqua, facendo solo comunicar le lamine di rame in contatto de'pezzi di ferro o di zinco da parte in parte, perchè il rame, per le ragioni esposte, non fosse punto alterato. L'ossigeno allora dell' aria, che sciogliendosi nell'acqua avrebbe cagionata la corrusione del rame, deve tutto fissarsi sul ferro o sullo zinco, perchè positivi per rapporto al rame. Dopo questi principii, deve una piccola quantità di questi metalli preservare una estessa superficie di rame dall' ossidazione.

593. De la Rive suppone le correnti elettriche dotate di affinità per le molecole chimiche, e che le combinazioni chimiche vengono distrutte per l' effetto di queste affinità, trasportando le correnti con esse le molecole de' composti. Così quando la corrente elettrica passa a traverso dell' acqua, la corrente positiva porta seco l' idrogeno, e la negativa l' ossigeno ec.

594. *Potenza chimica d'una corrente.* Faraday è pervenuto dopo molte sperienze a stabilir le seguenti osservazioni generali su la potenza decomponente delle correnti.

1° Una corrente ha un potere chimico che è in rapporto con la quantità assoluta di elettricità; cosichè la quantità del corpo scomposto dipende dalla quantità assoluta di elettricità che vi passa a traverso.

2°. Una stessa corrente distrugge le proporzioni simili di composti differenti, ma in questo caso il rapporto non consiste nel peso del corpo scomposto, sebbene nel numero delle proporzioni o equivalenti chimici che sono separati. Così una stessa corrente distrugge una proporzione di acqua =112, 26; una proporzione di acido idroclorico = 452, 13, una proporzione di nitrato di barite=1634, ec.

3°. La quantità chimica distrutta dalla corrente, è eguale alla quantità chimica che ha prodotta la stessa corrente. Così una corrente che produce una proporzione di zinco, quando questo si scioglie, scompone esattamente una proporzione chimica di acqua, d'un ossido, d'un acido, ovvero d'un sale.

Faraday si è servito del *voltaimetro*, descritto avanti per misurare la elettricità voltaica, che perciò egli ha chiamato *elettrometro di Volta*. Il suo effetto deriva da questo principio « che l'azione chimica decomponente della corrente è costante per una quantità costante di elettricità, non ostante le variazioni che possono avvenire nella sua intensità, nella dimensione de'fili, o lamine adoperate, e nella natura de'corpi conduttori o non conduttori a traverso i quali passa la corrente elettrica » e poichè l'acqua acidulata con acido solforico viene più facilmente scomposta, è stata da Faraday adoperata come il *liquido indicatore* il più convenevole; ma deve evitarsi la ricomposizione de'gas separati per opera della corrente, sotto l'influenza della lamina positiva. La forma degli apparecchi a scomposizione varia secondo le circostanze. Posson questi farsi con tubi o piccole campane graduate, che hanno una lamina o filo di platino fissatovi con la fusione del vetro all'estremità chiusa del tubo, la cui lunghezza si fa ordinariamente di 25 centimetri, ed il diametro di 18 millim.

Quando uno di questi elettrometri o voltaimetri è disposto nel circuito voltaico, facendo comunicare i due poli della pila con le estremità in fuora delle due lamine o fili di platino, esso determina la potenza chimica della corrente, dalla quantità di ciascun gas che si sviluppa dalla scomposizione dell'acqua. Se più di questi strumenti simili, ma che hanno lamine di platino di differenti dimensioni, son disposti nello stesso tempo nel circuito voltaico, la corrente unica che li percorre, scomporrà in tutti la stessa quantità di acqua. Or se nel circuito dispongansi tre di questi apparecchi in modo, che la corrente totale dopo aver traversato uno di essi si divida tra i due altri, e si ricomponga più avanti, allora la somma delle quantità di acqua scomposta dalle due correnti derivate, sarà sempre eguale alla quantità di acqua scomposta nel primo elettrometro. La facoltà dunque che possiede una corrente idro-elettrica di operar le scomposizioni chimiche, resta la stessa in tutte le parti del circuito, e si divide tra le correnti derivate assolutamente come la inten-

sità di loro ; dal che segue, che la potenza chimica di una corrente è proporzionale alla quantità di elettricità in moto nel circuito.

595. *Equivalenti elettro-chimici*—Avendo Faraday così stabilito il principio esposto su la potenza chimica di una corrente, ne trasse dopo altre conseguenze di maggiore importanza. Or essendosi provato esser questa potenza una forza costante e comparabile, quando nello stesso circuito s' introduce un elettrometro, o voltaimetro, ed un altro apparecchio analogo in cui non l'acqua, ma un altro corpo sia scomposto, la stessa quantità assoluta di elettricità in corrente svilupperà i gas nello strumento, e separerà gli elementi del composto nell'altro apparecchio. Così Faraday, mettendo in quest' ultimo il protocloruro di stagno, che non contiene acqua, ottenne, che lo stagno separato dopo un certo tempo pesava gr. 3, 2 ed il peso dell'acqua scomposta nello stesso mentre era gr. 0, 497. Questi numeri Faraday li disse *equivalenti elettro-chimici*, perchè la quantità assoluta di elettricità in movimento o di una corrente elettrica che è capace di scomporre gr. 0, 497 di acqua, è ancora quella che bisogna per precipitare gr. 3, 2 di stagno dal protocloruro adoperato, e questi numeri sono quasi nello stesso rapporto degli equivalenti chimici dell'acqua e dello stagno. In siffatto modo Faraday pervenne ad avere gli equivalenti elettro-chimici di molti composti, e provò che essi sono esattamente proporzionali a' pesi degli atomi di questi corpi, adottati da' chimici. Ed in ultimo, poichè una corrente che opera una scomposizione, restituisce a' componenti del corpo le masse delle elettricità contrarie che son rese libere quando si combinano, la identità precedente, condusse Faraday alla seguente legge generale, cioè, che gli atomi di tutt'i corpi semplici posseggono le stesse quantità assolute di elettricità.

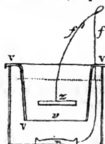
Galvano-plastica ed Elettrotipia.

596. La riduzione di alcuni ossidi col mezzo delle azioni chimiche, è di antica conoscenza. Quella del rame allo stato salino, su le lamine di ferro e di zinco pulite, quella del piombo dal suo acetato col mezzo dello zinco tenutovi immerso per qualche tempo, l' *albore* di saturno ec., sono fenomeni che Brugnatelli il primo spiegò derivar dall'opera dell' elettrico. Marianini fece dipoi sperienze più dirette sul proposito, e mediante l'azione della pila, colla quale eransi già prodotti simili effetti, cioè la riduzione degli ossidi, portandosi l'ossigeno al polo positivo ed il metallo al polo negativo, pervenne ad avere alcune impronte prodotte da deposito di metalli. Ma Iacobi ebbe effetti più decisivi, e riuscì ad avere medaglie, bassi rilievi, ed altre impronte me-

talliche di una perfezione che poco lasciava a desiderare (1), perchè i più minuti rilievi, lettere ec., si trovavano riprodotti con una grande precisione. Egli chiamò *galvano-plastica* siffatta precipitazione de'metalli, ed essa dipoi divenne un arte tecnica della più grande importanza, e suscettiva di estese applicazioni.

Iacobi fece le forme, versando il piombo fuso su la medaglia, o altro rilievo, ma sostituitovi dopo lo gesso, lo zolfo, la cera, diede la preferenza alla stearina, o acido stearico delle candele ordinarie di questa sostanza. Le superficie degli stampi non conduttori, si stropicciano prima con un poco di rame in polvere fina, o meglio con la grafite porfirizzata, per renderli conduttori. Molti metodi vennero a poco a poco aggiunti a quello di Iacobi, a fin di produrre la precipitazione del metallo, dei quali ne sporemo quelli che danno risultamenti più sodisfacenti.

597. La galvano-plastica poi si è divisa in *galvano-plastica* propriamente detta, e questa rapportasi alle statue, a' bassirilievi, medaglie ec. e la *galvanotipia*, o *elettrotipia*, che riguarda le lamine incise, i caratteri da stampa, ed in generale tutti gli oggetti che son destinati a trasportare le loro impronte sopra altri corpi per mezzo della pressione. La *doratura*, l'*argentatura*, la *platinatura* ec.; e tutti gli altri depositi metallici *preservatori*, che si applicano alla superficie de' corpi, come una *vernice metallica* per renderli inalterabili, o aumentarne l' importanza, soprattutto la doratura, platinatura ec. fanno ora parte del nuovo trovato di Iacobi.

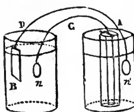


Nel vaso di vetro V si mette la soluzione di solfato di rame, e vi si tien sospeso lo stesso sale solido per tener satura la soluzione. Lo stampo o forma *m* è attaccata al filo metallico *f*, coverto di cera, che esce dal liquore, il quale prolungandosi per *f'* porta nella sua estremità la lamina di zinco *z*, la quale s' immerge nel vaso di vetro V V', chiuso in basso da una vescica, o altra membrana porosa *v*, in cui si mette una soluzione di sal marino o l' acqua leggiermente acidulata con acido nitrico del commercio. Tanto la parte del filo che quella della forma in cui non vuo-

(1) Trovandomi a Pietroburgo nel 1839, Iacobi aveva per caso ottenuta un impronta di rame sopra una coppia voltaica, che faceva scorgere alcuni tratti assai distinti. Egli aveva questa lamina in un quadro dorato, e la mostrava a coloro che andavano in sua casa. Giunto a Parigi, lessi due mesi dopo ne' giornali, che Iacobi aveva ottenute medaglie perfette, ed un premio di 100,000 rubli perchè aveva comunicato il suo metodo. In onore del vero, sembra che Iacobi non avesse conosciuto le sperienze di Marianini, perchè aveva già ottenuta una deposizione figurata di rame metallico, ma non aveva pensato a quanto fece posteriormente.

le che vi si deponga il rame si covrono di cera. Quando i due fili conduttori $f f'$ sono uniti, l'azione comincia, ed il deposito di rame metallico a poco a poco si medesima su la forma, il quale dopo 3 a 4 giorni trovasi aumentato ad una spessezza convenevole.

598. Nell'altro apparecchio di Masson, il principio è lo stesso. Il vaso a sinistra contiene la soluzione di solfato di rame, e lo zinco nel diaframma. Lo stesso altro vaso contiene la medaglia n, attaccata al filo conduttore C, che comunica con lo zinco posto nel diaframma. Una seconda medaglia n' attaccata all'elettrodo D, porta la lamina di rame B, e s'immerge nel solfato di rame della pila a diaframma in cui si mette l'acqua acidulata come si è detto nell' altro apparecchio, egualmente che nell' altro vaso a sinistra ove è la lamina di rame B, che si dice *vaso a decomposizione*.



In generale l'operazione consiste nell' immergere in una soluzione di solfato di rame l'oggetto su cui vuole che il rame si deponga, come statua, medaglia ec., e far che esso divenga l'elettrodo positivo che s'immerge nella soluzione. Non appena la corrente è stabilita, che si vedrà il rame a poco a poco deporsi su quest'elettrodo negativo. Quando l'operazione è ben condotta, dopo 1, 2, a 3, giorni, si avrà dapertutto uno strato eguale di rame, di $\frac{1}{100}$, $\frac{1}{50}$, $\frac{1}{10}$, di millimetro di spessezza, secondo l'intensità della corrente e la durata della sua azione. L'effetto è migliore quando la corrente è debole, perchè esso allora opera lentamente e più a lungo.

599. *Elettrotipia, o galvanotipia.* Consiste essa nella riproduzione delle incisioni sopra rame, acciaro, caratteri da stampa ec. Si ottiene immergendo direttamente questi oggetti, disposti come le forme delle medaglie esposte, nella soluzione di solfato di rame, o prendendone l'impronta col piombo per compressione, e dopo si tengono immerse allo stesso modo nella soluzione del sale di rame; ma finora i risultamenti non sono stati abbastanza sodisfacenti, e solo su i rilievi, e su i caratteri da stampa questi han pienamente corrisposto a quanto si ha di più perfetto colla galvanoplastica.

La necessità di adoperare i diaframmi negli apparecchi voltaici ad azione costante, offre non pochi inconvenienti. Le membrane di vescica, lo gesso, la terra porosa, come l'argilla cotta imperfettamente ec., si alterano più o meno dopo poco tempo, ma tra tutti quelli fatti con la terra porosa o di porcellana cotta imperfettamente, han meritato la preferenza. Anche la tela

che serve a far secchi per incendio, essendo molto serrata e spessa, somministra parimenti buoni diaframmi.

600. *Doratura, argentatura, platinatura ec.*—Una delle più importanti applicazioni della galvanoplastica, è fuori dubio la soprapposizione di metalli sopra altri metalli per uso del gioilliere e de'fabbricanti di oggetti dorati, soprattutto in que'assai delicati ne'quali l'uso dell'amalgama, o di polveri, riusciva di assai difficile applicazione e grave dispendio. Con questo nuovo metodo si ha ancora il vantaggio di operare nello stesso mentre sopra molti oggetti in una volta, disponendoli come si è esposto con gli apparecchi per le medaglie ec. Ma de la Rive, servendosi della pila a forza costante, vi pervenne meglio facendo comunicare lo stesso filo conduttore con ciascun' oggetto immerso nella soluzione del metallo con cui si vuol covrire la loro superficie. Operando in grande, si adoperano casse di legno coverte con mastice resinoso, in cui un filo di ptatino che comunica col polo positivo della pila, s'immerge nella soluzione metallica, entra nella cassa per un corto cannello di vetro per isolarlo, ed arriva nel basso della soluzione sino alla estremità opposta della cassa, o dove è l'ultimo oggetto da dorarsi. L' altro filo si fa di rame, e si attacca al polo negativo, facendolo scendere anche nella soluzione, isolato come l'altro, ma questo deve essere in contatto con tutti gli oggetti che si vogliono dorare, o applicarvi altro metallo. La durata dell'operazione e brevissima, perchè di rado sorpassa 2 a 3 minuti, e dipende dallo stato della superficie degli oggetti, i quali debbon prima esser puliti diligentemente, per privarli da ogni superficie ossidata. Fatta l'operazione, gli oggetti si lavano subito dopo con molt' acqua, si prosciugono, e si seccano nella segatura di legno asciutta. In questo stato essi possono pulirsi, e *brunirsi* al modo degli altri oggetti dorati con gli antichi metodi.

Questo metodo di de la Rive, che fu detto *doratura galvanica*, non riesce quando il cloruro di oro non è perfettamente neutro, il che è difficile averlo in questo stato. Contemporaneamente Elkington, Bouquillon, e Ruolz chiesero privativa di un nuovo mezzo onde evitar siffatti inconvenienti. Ruolz pervenne ad avere effetti più sicuri sciogliendo 10 parti di cianuro di potassio, in 100 p. di acqua distillata, ed al liquore filtrato vi aggiunse 1 parte di cianuro di oro ben preparato, trituradolo in un mortaio con un poco dello stesso liquore per meglio operar la sua soluzione. Il liquore tenuto lontano dalla luce, ad una temperatura di + 15° a + 20°, dopo tre giorni si filtra e si usa.

Nel metodo di Elkington e di Bouquillon, si adoperano insieme la soluzione di cloruro di oro e di cianuro di potassio nelle proporzioni che dipendono dalla spessezza dello strato di oro che vuole ottenersi sopra altri metalli, e la soluzione può adope-

rarsi più o meno concentrata, più o meno calda, secondo le circostanze. Contro le pareti del vaso che la contiene, si sospende una lamina di oro che fa da elettrodo solubile, e si procede mettendo i fili che portano o che sono in comunicazione degli oggetti da dorarsi, in rapporto col polo negativo della pila, nel mentre che il polo positivo comunica con la lamina di oro sopra diversi punti. Tanto in questa operazione che nelle altre descritte per le medaglie di rame, l'intensità della corrente deb-b'essere regolata a seconda delle diverse condizioni relative alla temperatura della soluzione indicata, non che al grado della sua concentrazione, tanto nella quantità del cloruro di oro che del cianuro di potassio, e soprattutto all'estensione della superficie degli oggetti che si vogliono simultaneamente dorare.

601. *Doratura per immersione.*—Per dorare il rame e l'ottone Elkington adoperò un mescuglio di 435 gramme di acqua, altrettanto di acido nitrico della densità di 1,45, e di acido idroclorico o cloridrico della densità di 1,15, in cui fece sciogliere a caldo 155 gram. di oro molto diviso. Quando la soluzione fu fatta, la riscaldò ancora perchè divenisse limpida, e decantata, la versò in un vaso di ferro, aggiugnendovi 18 litri di acqua e 9 chilogrammi di carbonato di potassa, facendo bollire il tutto durante due ore. Con questo bollimento sembra che il bicloruro di oro si trasformi in protocloruro.

In questa soluzione bollente s'immergono gli oggetti che si vogliono dorare, agitandoli leggiermente, sin che siensi coverti di un sufficiente strato di oro, il che domanda appena qualche istante, e perciò il metodo si è detto *doratura per immersione.* Si lavano dopo con molt'acqua, e subito si prosciugano con la segatura di legno secca e ben calda. In questa operazione il cloro passa sul rame per formare il cloruro di rame che si scioglie nel liquore, nel mentre che l'oro isolato si attacca su la superficie del rame o dell'ottone che si è adoperato, formandovi un deposito aderente a segno, che può pulirsi, brunirsi ec.

Becquerel presentò all'Accademia delle scienze alcuni saggi rimarchevoli di deposizioni di platino, di cobalto, di rickel, di palladio, d'iridio, ec. sopra altri metalli. Il metodo seguito è lo stesso di quello descritto per la *doratura per immersione*, e consiste nel preparare anche un doppio cloruro metallico ed alcalino, ed adoperare il liquore ad una temperatura compresa tra zero e + 100°. I metalli debbono esser prima ben puliti, e dopo immersi nel bagno, agitati, come si è detto per la doratura: dopo un minuto possono cacciarsi fuora, lavarli e prosciugarli colla segatura calda.

Daremo per esempio de'doppii cloruri indicati, quello di platino e potassio. Una soluzione neutra quanto è possibile di cloruro di platino, si versa in una soluzione concentrata di potassa

per operarne la scomposizione. Il precipitato si lava subito con un mescuglio di alcool ed acqua, e poi coll'alcool ordinario per toglierne l'eccesso di alcali, e lasciare il doppio cloruro di platino e di potassio, il quale così sarà perfettamente neutro. Sciolto dopo in acqua distillata a saturazione, si diluisce con 2 a 3 volte il proprio volume di acqua, ed il liquore si adopera riscaldato prima a 60°, ovvero 70° gradi al più (*Comptes rendus, Mars*, 1844 pag. 449). Le comunicazioni de' poli della pila si stabiliscono allo stesso modo che si è esposto più avanti.

Azioni elettro-chimiche delle deboli correnti nel produrre composti che non si hanno con le azioni chimiche ordinarie.

602. Dopo i felici risultamenti ottenuti da de la Rive su la doratura, Becquerel ed altri fisici posero a profitto i fenomeni secondarii che si hanno dall'azione della pila per produrre più combinazioni chimiche, che solo alcune si avevano con le azioni chimiche ordinarie. Così quando un conduttore traversa una soluzione di nitrato di piombo, osservasi che al polo positivo della pila si depone una piccola quantità di ossido rosso di piombo (deutossido, o minio). Operando con la soluzione di nitrato di argento, il filo che conduce la elettricità positiva si covre di aghi cristallini che son formati dall' ossido di argento. Quando si attacca un pezzetto di arsenico all'estremità del filo negativo, l'idrogeno del liquido eccitatore si combina all' arsenico e produce un composto solido d' idruro di arsenico. Ed in ultimo Becquerel pervenne ad ottenere il protossido di rame cristallizzato, scomponendo il nitrato di questo metallo con una corrente elettrica assai debole. Egli pose in una *provetta*, o tubo con piede, il nitrato di rame con l' ossido di questo metallo, il quale depostosi al fondo dopo qualche tempo, vi fece immergere una lamina di rame sino nell'ossido. Su la parte della lamina che era in contatto con quest'ultimo, si depose a poco a poco il nitrato basico o sotto-nitrato per l' opera dell'azione dell'ossido sul nitrato neutro, e perciò il contatto di quest' ultimo col deposito, fattosi differente, produsse una corrente assai debole, ma tale da bastare al trasporto del deutossido di rame e dell' idrogeno al polo negativo, ed alla riduzione parziale di quest'ossido operata per l' opera dell'idrogeno, il perchè il protossido di rame che risultava da tale reazione, si depose in piccoli cristalli su la parte superiore della lamina metallica. Da questi effetti, a ragione Becquerel ne dedusse, che l'azione delle correnti deboli e continue, concorre efficacemente alla formazione di gran parte de' composti chimici, de'quali alcuni, che non possono aversi colle azioni chimiche ordinarie, sono identici a'composti minerali che la natura ci offre. Perchè questi fenomeni di scomposi-

zione, di trasporto, e di riduzione abbiano luogo, basta che tre corpi differenti si mettano in contatto, e che uno di essi almeno sia liquido, e gli altri assai conduttori per sottrarre i fluidi elettrici alla loro combinazione immediata.

603. Si è detto, che le pile che più convengono per l'elettrochimica, sono quelle a corrente costante già descritte. Faremo notare alcune osservazioni fatte dopo su le stesse.

Nelle pile a *corrente costante*, Iacobi ha provato esservi una grande superiorità in quelle in cui il platino sostituiva il rame. Così in una coppia voltaica a diaframma di terra porosa, fatta con rame e zinco, caricata di solfato di rame e di acido solforico allungato di 6 parti d'acqua in volume, ed in un altra simile coppia fatta con zinco e platino, caricata di acido nitrico concentrato e dello stesso acido solforico allungato, gli effetti dedotti dal calcolo furono, che una pila di 3 metri quadrati di platino, può sostituir quella di 50 metri quadrati di rame. Sembrava dedursi da queste sperienze, che il platino dovesse avere una grande superiorità sul rame, nella composizione delle pile, ma Bequerel osservò dopo, che tale superiorità devesi alla reazione dell' acido nitrico concentrato su l' acqua acidulata dall' acido solforico, che dà origine ad una corrente elettrica assai più grande di quella che risulta dalla soluzione di solfato di rame su la stessa acqua acidolata. Ancora, l'acido nitrico essendo scomposto dall'azione delle due correnti, deve risultarne un aumento nell'effetto generale, per causa di una più grande quantità di zinco che viene ossidato. Sembra dunque che a siffatte cagioni debbonsi ripetere gli effetti ottenuti da Iacobi, i quali par che dovrebbero anche aversi sostituendo al platiuo altri metalli che avessero la stessa superficie, e che non fossero attaccati dall' acido nitrico. Fra questi corpi pare che il carbone, nella pila di Bunsen, debba produrre presso a poco lo stesso effetto.

Nelle *pile a corrente costante* si è detto, che lo zinco amalgamato possiede la proprietà dell' acqua leggiermente acidolata coll'acido solforico, in cui si tiene immerso, ma non appena esso mettesi in contatto con un filo di rame o di platino, l'azione, e la corrente diviene subito assai viva; lo zinco si scioglie, e l'idrogeno si sviluppa sul filo negativo della coppia voltaica. L'effetto così prodotto non si è abbastanza spiegato, dappoichè lo stesso mercurio, costituendo con lo zinco e l' acqua acidolata una coppia voltaica, dovrebbe lo zinco esser più attaccato che quando fosse isolato; or succedendo il contrario, ha dovuto dedursi, che in seguito del contatto de' due metalli, le particelle dello zinco debbono formar col mercurio combinazioni che sono in uno stato elettro-chimico particolare.

De la Rive avendo immersa una lamina di zinco ordinario nell' acqua acidolata con un trentesimo di acido solforico, ebbe at-

taccato lo zinco energicamente, ma quando adoperò lo zinco puro, questo non lo era in modo sensibile. Nel primo caso la impurità del metallo deve dar luogo a piccole coppie voltaiche, con gli altri metalli che si trovano nello zinco di commercio cioè ferro, rame, cadmio, arsenico ec., e perciò deve esservi più zinco ossidato e sciolto, e che l'idrogeno che si sviluppa in apparenza su la superficie della lamina di zinco ordinario, deve realmente succedere nelle particelle degli altri metalli con cui è unito. Ma lo zinco amalgamato, ancorchè impuro, qualunque non scomponga sensibilmente l'acqua acidolata, deve nondimeno ritenere una tale affinità per l'ossigeno, che il piu piccolo contatto con altro metallo basta per dar luogo alla sua ossidazione, e produrre una corrente elettrica, lo sviluppo dell'idrogeno ec. Faraday, nel dare ragione di questo fenomeno, crede che il mercurio operi conducendo lo zinco in una condizione uniforme, che distrugge l'operar di queste piccole coppie voltaiche, il perchè trovandosi tutta la superficie dello zinco coverta di mercurio, non può operar la scarica dell'elettricità rimpetto all'altra, e perciò, tutta l'azion chimica dell'acqua acidolata in questa superficie deve trovarsi in questa condizione di eguaglianza, la quale ancorchè tenda a produrre una corrente a traverso il liquido sopra un'altra lamina metallica, essa non presenta irregolarità capaci da permettere ad una parte che avesse più debole affinità per l'ossigeno, di operarne la scarica rimpetto ad un altra. Nello zinco dunque amalgamato, par che l'equivalente compiuto di elettricità derivi dall'ossidazione di una certa quantità di zinco, la quale non succede se non quando gli elettrodi sono uniti.

FINE DEL SECONDO VOLUME.

INDICE

DELLE MATERIE CONTENUTE IN QUESTO SECONDO VOLUME.





